فيزياء أعضاء جسم البشر

د/ محمد محمد الزيدية



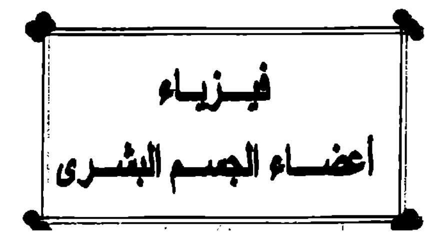








الدار العربية للنشر والتوزيع


فيزياء
أعضاء الجسم البشرى

فيزياء
أعضاء الجسم البشرى

تأليف

دكتور/ محمد محمد الزيدية

أستاذ الحالة الصلبة

كلية العلوم جامعة المنوفية

عميد كلية العلوم جامعة المنوفية سابقا

الطبعة الأولى

2009



الدار العربية للنشر والتوزيع

حقوق النشر

اسم الكتـــاب : فيزياء أعضاء الجسم البشرى

اســم المـؤلف : أ. د/ محمد محمد الزيدية

رقـــم الإيداع: ١٣٣٨٥ / ٢٠٠٩

الترقيم الدولى : ٢ - ٣٧١ - ٢٥٨ - ٩٧٧

الطبعــة الأولى : 2009

للدار العـربية للنشـر والتـوزيع

32 شارع عباس العقاد - مدينة نصر

جمهورية مصر العربية – القاهرة

تليفـون : 22753335

فاكـس : 22753388



- إلى روح والـدى ....

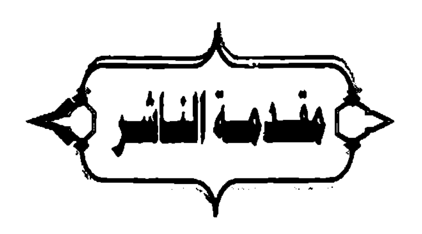
- وإلى طـلاب العلـم ....

- وإلى أبنائـى ....

- وإلى أبنـــاء بلـدى ....

- وإلـــى المتخصصـون وإلـى الهـــواه ....

أهدى محتوى هذا الكتاب لعل الله ينفع به من أراده.



يتزايد الاهتمام باللغة العربية فى بلادنا يوماً بعد يوم. ولا شك أنه فى الغد القريب ستستعيد اللغة العربية هيبتها التى طالما امتهنت واذلت من أبنائها وغير ابنائها. ولا ريب فى أن امتهان لغة أية أمة من الأمم هو إذلال ثقافى فكرى للأمة نفسها، الأمر الذى يتطلب تضافر جهود أبناء الأمة رجالاً ونساءً طلاباً وطالبات، علماء ومثقفين مفكرين وسياسيين فى سبيل جعل لغة العروبة تحتل مكانتها اللائقة التى اعترف المجتمع الدولى بها لغة عمل فى منظمة الأمم المتحدة ومؤسساتها فى أنحاء العالم لأنها لغة أمة ذات حضارة عريقة استوعبت - فيما مضى- علوم الأمم الأخرى وصهرتها فى بوتقتها اللغوية والفكرية، فكانت لغة العلوم والأدب، ولغة الفكر والكتابة والمخاطبة.

إن الفضل فى التقدم العلمى الذى تنعم به أوروبا اليوم يرجع فى واقعه إلى الصحوة العلمية فى الترجمة التى عاشتها فى القرون الوسطى. فقد كانت المرجع الوحيد للعلوم الطبية والعلمية والاجتماعية هو الكتب المترجمة عن اللغة العربية لابن سينا وابن الهيثم والفارابى وابن خلدون وغيرهم من عمالقة العرب، ولم ينكر الأوروبيون ذلك، بل يسجل تاريخهم ما ترجموه عن حضارة الفراعنة والعرب والإغريق، وهذا يشهد بأن اللغة العربية كانت مطواعة للعلوم والتدريس والتأليف، وأنها قادرة على التعبير عن متطلبات الحياة وما يستجد من علوم، وأن غيرها ليس بأدق منها، ولا أقدر على التعبير.

ولكن ما أصاب الأمة من مصائب وجمود بدأ مع نهاية عصر الوجود التركى، ثم الاستعمار البريطانى والفرنسى مما عاق اللغة عن النمو والتطور، وأبعدها عن العلم والحضارة ولكن عندما أحس العرب بأن حياتهم لابد من أن تتغير، وأن جمودهم لابد أن تدب فيه الحياة، اندفع الرواد من اللغويين والأدباء والعلماء نحو إنماء اللغة وتطويرها حتى أن مدرسة قصر العينى فى القاهرة، والجامعة الأمريكية فى بيروت

درستا الطب بالعربية أول إنشائهما. ولو تصفحنا الكتب التى أُلفت أو تُرجمت يوم كان الطب يدرس فيها باللغة العربية لوجدناها كتباً ممتازة لا تقل جودة عن مثيلاتها من كتب الغرب فى ذلك الحين، سواء فى الطبع، أو حسن التعبير، أو براعة الإيضاح، ولكن هذين المعهدين تنكرا للغة العربية فيما بعد، وسادت لغة المستعمر. وفُرضت على أبناء الأمة فرضاً، إذ رأى المستعمر أن فى خنق اللغة العربية مجالاً لعرقلة الأمة العربية.

وبالرغم من المقاومة العنيفة التى قابلها، إلا أنه كان بين المواطنين صنائع سبقوا الأجنبى فيما يتطلع إليه، فتفننوا فى أساليب التملق له اكتساباً لمرضاته، ورجال تأثروا بحملات المستعمر الظالمة، يشككون فى قدرة اللغة على استيعاب الحضارة الجديدة، وغاب عنهم ما قاله الحاكم الفرنسى لجيشه الزاحف إلى الجزائر: "علموا لغتنا وانشروها حتى نحكم الجزائر، فإذا حكمت لغتنا الجزائر، فقد حكمناها حقيقة".

فهل لى أن أوجه نداءً إلى جميع حكومات الدول العربية بأن تبادر– فى أسرع وقت ممكن– إلى اتخاذ التدابير، والوسائل الكفيلة باستعمال اللغة العربية لغة تدريس فى جميع مراحل التعليم العام والمهنى والجامعى، مع العناية الكافية باللغات الأجنبية فى مختلف مراحل التعليم لتكون وسيلة الإطلاع على تطور العلم والثقافة والانفتاح على العالم. وكلنا ثقة فى إيمان العلماء والأساتذة بالتعريب، نظراً لأن استعمال اللغة القومية فى التدريس ييسر على الطالب سرعة الفهم دون عائق لغوى وبذلك تزداد حصيلته الدراسية، ويرتفع بمستواه العلمي، وذلك يعتبر تأصيلاً للفكر العلمى فى البلاد، وتمكيناً للغة القومية من الازدهار والقيام بدورها فى التعبير عن حاجات المجتمع، وألفاظ ومصطلحات الحضارة والعلوم.

ولا يغيب عن حكوماتنا العربية أن حركة التعريب تسير متباطئة، أو تكاد تتوقف بل تحارب أحياناً ممن يشغلون بعض الوظائف القيادية فى سلك التعليم والجامعات ممن ترك الاستعمار فى نفوسهم عقداً وأمراضاً، رغم أنهم يعلمون أن جامعات إسرائيل قد ترجمت العلوم التطبيقية الحديثة إلى اللغة العبرية وعدد من يتخاطب بها فى العالم لا يزيد عن خمسة عشر مليون يهوديًا، كما أنه من خلال زياراتى لبعض الدول واطلاعى

على مناهجها الدراسية وجدت كل أمة من الأمم تدرس بلغتها القومية مختلف فروع العلوم والأدب والتقنية كاليابان، وإسبانيا، وألمانيا، ودول أمريكا اللاتينية، ولم تشك أمة من هذه الأمم فى قدرة لغتها على تغطية العلوم الحديثة، فهل أمة العرب أقل شأناً من غيرها ؟!.

وأخيراً .. وتماشياً مع أهداف الدار العربية للنشر والتوزيع، وتحقيقاً لأغراضها فى تدعيم الإنتاج العلمى باللغة العربية، وتشجيع العلماء والباحثين فى إعادة مناهج التفكير العلمى وطرائقه إلى رحاب لغتنا الشريفة تقوم الدار بنشر هذا الكتاب المتميز الذى يعتبر واحداً من ضمن ما نشرته – وستقوم بنشره – الدار من الكتب العربية التى قام بتأليفها أو ترجمتها نخبة ممتازة من أساتذة الجامعات المصرية والعربية المختلفة.

وبهذا ... ننفذ عهداً قطعناه على المضى قدما فيما أردناه من خدمة لغة الوحى وفيما أراده الله تعالى لنا من جهاد فيها.

وقد صدق الله العظيم حينما قال فى كتابه الكريم ﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَى عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ (106) ﴾ " سورة التوبة "

محمد أحمد دربالة
الدار العربية للنشر والتوزيع

الموضـــوع **الصفحة**

المحـــتويات

مقدمة 13

الباب الأول

الحاسب فى خدمة الطب 17

الباب الثانى

فيزياء العلاج بالإشعاع 27

الباب الثالث

فيزياء الطب النووى 41

الباب الرابع

الوقاية من الإشعاع 67

الباب الخامس

فيزياء الأشعة السينية العلاجية 81

الباب السادس

الضوء فى الطب 97

الباب السابع

فيزياء العين والرؤية 109

الباب الثامن

الموجات الصوتية فى الطب 129

الباب التاسع

فيزياء الأذن والسمع 143

الباب العاشر

فيزياء الجهاز الدورى 155

الباب الحادى عشر

فيزياء التنفس 179

الموضـــوع	الصفحة
الباب الثانى عشر	
فيزياء الضغط فى الجسم	201
الباب الثالث عشر	
الكهرباء فى الجسم	215
الباب الرابع عشر	
تطبيقات الكهربية على الجسم	243
الباب الخامس عشر	
تطبيقات التسخين والتبريد فى الطب	259
الباب السادس عشر	
حساب الطاقة والشغل والقدرة فى الجسم	271
الباب السابع عشر	
فيزياء العظام	295
المراجع	309

مقـــدمـة

الحمد لله على نعمة العلم والحمد لله على توفيقه للعمل بها والصلاة والسلام على رسوله سيد العلماء وسيد العاملين بالعلم.... وبعد.

لاشك أن العلم فى قمته واحد وأن تداخل العلوم وتشابكها فى المستويات الأقـل أمر طبيعي حيث أن استقلال فروع العلم بعضها عن بعض إدعاء لم يحدث وإذا حدث لن ينجح وكيف يحدث ذلك والترابط والتشابك صفة كل شئ فى كل عصر وفى كـل آن- وإذا جاز ذلك فيما سبق فكيف يجوز ذلك اليوم والعالم كله جزيرة واحدة مصالحها واحدة وأمانيه واحدة ولا يحقق هذه الأماني إلا علم شامل كامل- لـذلك فـإن العلـوم البينية هي أطراف التشابك والترابط بين علم وأخر- والفيزياء أم العلوم وملكة العلـوم Qeen of sciences تقوم على خدمتها وتقدم لها أسباب التطور والرقي- فالربط بين الفيزياء والكيمياء هي الكيمياء الفيزيائية والربط بين الفيزياء والرياضيات هي الفيزياء الرياضية والربط بين الفيزياء والعلوم الحيوية هي الفيزياء الحيوية والربط بين الفيزياء والعلوم الطبية هي الفيزياء الطبية. وهذه الأخيرة تقدم خدمة لكل تخصـصات الطـب لتكون فى خدمة أجهزة وأعضاء الجسم الأنساني.

فقد قدمت الفيزياء الطبية ما يزيل آلم المرضي ويشفيهم من الأمراض الخبيثة عن طريق إكتشاف الاشعاع والمواد المشعة ووظيفة الأشـعاع فـى الأسـتخدام الطبـي للتشخيص والعلاج والتدخل الجراحي إذا لزم للتخلص من الأورام الخبيثـة. وقـدمت كثيراً من الخدمات للطب النووي- كما قدمت للتشخيص بالموجـات فـوق الـصوتية والسونار والموجات السينية مما ساعد على حل مشاكل الأحشاء الداخلية للجسم ومـا ساعد على شفاء العظام والتئام كسورها ويسر الوقـوف علـى أنـسب وأدق طـرق علاجها.

كما قدمت الفيزياء الطبية أهم مساعدات الأبصار بالضوء المرئبي في الميكروسكوب والميكروسكوب الألكترونية والمناظير الطبية لُحسن تشخيص وعلاج أمراض معظم أعضاء الجسم وسخرت أشعة الليزر للتشخيص والعلاج من جانب ومن جانب آخر يسرت العلاج بالضوء الغير مرئي بإستخدام الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. ودور الفيزياء الطبية فى توظيف الكهرباء لخدمة أمراض القلب والمخ لاينسي فبدونها لم يكن رسم مخططات القلب والمخ والعين والعضلات أمر ممكن- والتطبيقات الكهربية لمساعدة مرضى القلب من حيث العلاج والتقويم وأستخدام أدورات التوصيل والعزل وعلاج الذبحات الصدرية والقلبية أمر لا ينكره أحد- كما أن المخططات الحرارية للجسم أمر كثير الأستخدام لتفادي الأثار الضارة لمرضي السكر- وما قدمته الفيزياء الطبية فى العلاج بالتسخين والتبريد كان له الأثر الفعال فى شفاء أمراض الروماتزم والشلل الرعاش وإجراء العمليات الجراحية عند درجات الحرارة المنخفضة- وقد ساعدت وسائل التبريد فى استحداث طرق لحفظ الدم لمدد طويلة.

وقد يسرت الفيزياء الطبية فهم كثير من العمليات التى تحدث فى الجسم البشري فهي التى كشفت القناع عن التبادل الأيوني بين الصوديوم والبوتاسيوم فى عضلة القلب والخلية الحية حتي يعطي القلب نبضاته وتسري فى الجسم حياته- كما أوضحت الفيزياء الطبية دور التيار الكهربي فى نمو الجسم الانساني ونمو عظامه- وللفيزياء الطبية الدور الأعظم فى فهم الإشارات الكهربية التى تحملها الأعصاب من وإلى المخ ليري الأنسان ويسمع ويتحرك ويعمل فى مواقع الإنتاج ويؤدي خدماته.

لكل ما أسلفناه رأينا أن علينا واجباً نقدمه لأبنائنا وأمتنا فى تأليف كتاب عن الفيزياء الطبية حتي تكون المعلومات مجمعة فى خدمة الطب وطلابه وأطباءه في مرجع واحد يسهل الرجوع إليه فى المكتبة العربية ورأينا أن يكون باللغة العربية ليكون محتواه قريب المنال لكل طالب وصاحب حاجة. وحاولنا أن يكون كاملا أو قريب من الكمال إلا أن الكمال لله وحده فمن وجد ضالته فى هذا الكتاب فليشكر الله على توفيقه لنا لخدمته- ومن لم يجدها فليدعو الله لنا بالعون إذا ما حاولنا فى طبعة آخري من هذا الكتاب لتكون مزيدة وأكثر فائدة،،،

المؤلف

محمد محمد الزبدية

الباب الأول



الحاسب فى خدمة الطب

The computer in medicine

الباب الأول

الحاسـب فـى خـدمـة الطـب

The computer in medicine

مقـدمـة:

يتجـزأ الحاسـب إلـى جـزئين إثنـين متكـاملين The computer is two integraated parts:

1. جهاز الحاسب نفسه وملحقاته The hardware

أي الأجزاء والدوائر الإلكترونية وذاكرة التخزين وجميع ملحقات الحاسب.

2. البرامج المقدمة The software

وهذه البرامج تكتب بواسطة المبرمجين باللغات التى يتعامل بها الحاسب. ولكـل برنامج هدف نهائي يجب أن يتحقق وفى هذا يتنافس المبرمجين أيهما يحقـق الهـدف بأدق برنامج بأقل تكلفة وفى أقصر وقت لكل ما يتقدم به جهاز الحاسب (in put) وكل ما يسفر عنه عمل الحاسب ويطلق إسم المخرجات (out put).

وتكون المدخلات من خالا لوحة المفاتيح (key board) أو من خلال ما يـسمي بالفأرة (mouse). والمخرجات عادة تكون مطبوعات سواء على الـشاشة أو علـى الورق، وهناك حواسـيب شخـصية ((personal computers (PC))- وحواسـيب جماعية كبيرة (Time – shared computers)- وفـى بعـض الحـالات تتـرابط

الحواسيب الشخصية لتكونّ حواسيب جماعية تحقق هدف للمتشاركين. والآلات الحاسبة البسيطة من ذلك الحواسيب التى تؤدي غرض معين.

وبعض الحواسيب تتعامل بالأعداد (numbers) وتسمي بالحواسيب الرقيمية (Digital computers) وبعضها يتعامل بالنبضات الكهربية التى تعتمد على الجهد أو التيار وتسمي الحواسيب التماثلية (Analog computers)- وفيه تتحول النبضات الكهربية إلى أرقام فى عملية تبدأ بترقيم المعلومات (Digitizing data) وتسمي الدوائر التى تقوم بذلك Analog to digital converter (ADC).

والحاسب عموماً هو آلة قادرة على عمل عمليات رياضية متتابعة بناء على ما يقدم لها من معلومات فى إطار البرنامج الموضوع. وذلك فى زمن صغير جداً وبسرعة عالية جداً.

وفى مجال الطب فإن المعالج يجمع ويخزن ويستعيد معلومات عن مرضاه. وبذلك يظل التاريخ المرضي للمريض حاضر لدي الطبيب ومساعد له فى إتخاذ قرارات التشخيص.

معطيات تاريخية History taking:

من أهم ما يعين على التشخيص هو معرفة التاريخ المرضي للمريض. ولا يستطيع أحد أن يعالج أو يتخذ قرار علاج قبل أن يعرف متي بدأت الحالة وهل هي متكررة ومتي يبدأ الألم ومتي يسكن، ويساعد على ذلك معرفة التاريخ المرضي للمريض والأسرة والأجداد وعلاقته بمن حوله وعلاقته بجميع العوامل البيئية. وتودع كل هذه المعلومات فى ذاكرة الحاسب فى ملف يحمل أسم المريض ورقمه وجميع بياناته الشخصية الأمر الذى يمكن الطبيب من استدعاء هذه المعلومات لنفس المريض كلما لزم.

كما أنه وجد من المفيد أن تعمل جلسة جمع المعلومات هذه بين المريض والحاسب مباشرة دون وجود الطبيب الأمر الذى يزيل الحرج كثيرا عن المريض. ويكون الحوار كامل وشامل حول التاريخ المرضى للمريض وأسرته الحاضرة والغابرة والأمراض الوراثية والجسدية والآثار البيئية وكل ما يفيد فى التشخيص دون إفراط ولا تفريط فيستفيد المريض ولا يضيع وقت الطبيب ويؤتي قرار التشخيص أدق الثمار.

معامل آلية Laboratory automation

الأجهزة الحديثة فى التحاليل الطبية وعمل المزارع الطبية المساعدة على التشخيص زادت وفاض نتاجها إلى حد كبير- فقد استخدمت عينة الدم الواحد للحصول على العديد من التحاليل لخدمة أكثر من غرض وكذلك الأمر فى المزارع الحيوية وهذا أدي إلى تنوع فى نتائج المريض الواحد والحاسب يسهل قضية جمع هذه النتائج وتخرينها فى ملف المريض ذاته تحت اسمه ورقمه (ويفضل أن يكون الرقم القومي)- وما على الطبيب إلا أن يستدعي ذلك الملف للإطلاع على ما فيه للمساعدة فى التشخيص.

قراءة وتفسير مخطط القلب الكهربي

Electro Cardio Gram (ECG) interpentiation

مخطط القلب الكهربي هو تسجيل انقباض عضلة القلب وانبساطها آليا وذلك بتوصيل أقطاب الجهاز المستخدم فى مواضع معينة على صدر المريض. وهو يعطي معلومات عن تركيب القلب والتغير الحادث فى كهربية القلب- وبقراءة هذا المخطط يستطيع المعالج أن يضع يده على نقاط الضعف أو القصور أن وجدت عند مريض القلب مثل عيوب التوصيل الكهربي، النبضات الغير العادية مثل عدم إنتظام ضربات القلب أو عدم أتساقها (Arrhythmia). وقراءة وتفسير هذا المخطط لها قواعد محددة

وأطباء القلب يعرفون هذه القواعد بشكل جيد. إلا أن قراءة وتفسير هذه المخططات فى وقت قصير أمر صعب.

وجاء الحاسب ليحل هذه المشكلة بشكل جذري حيث تم تصميم برامج خاصة لتفسير (ECG) آخذين فى الاعتبار كل القواعد والضوابط المساعدة على ذلك- حيث تأخذ البرامج النبضات الكهربية من جهاز التخطيط (ECG) مباشرة ثم تحولها إلى أرقام (Digital's) وتحدد كل ما هو غير عادي بالمقارنه بالنتائج الطبيعية والعادية. وهذه البرامج تحدد وتقيس محددات وعوامل كثيرة من على (ECG) مثل شكل الموجة الكهربية (wave form) والزمن اللازم من قمة موجبة إلى قمة موجبة أخري (peak- to – peak timeinterval) وكل هذه التحاليل والمعلومات تكتب على الورقة المسجلة عليها بواسطة (ECG) وتضاف إلى ملف المريض تحت أسمه ورقمه فى زمن قصير جداً وقد وجد أن ما يقوم به الحاسب من تفسير مناسب جداً من حيث السرعة والدقة وبذلك يتم خدمة المريض بدقة وبسرعة فى ضوء قرار المعالج.

مراقبة حالات المريض Patient monitoring:

من المرغوب فيه فى بعض الحالات متابعة حالات المرضي من فترة إلى أخري وذلك بتسجيل بعض المتغيرات فى ضغط ودرجة الحرارة، مخطط القلب إلى غيرها من المتغيرات الممكنة عند بعض المرضي- وخصوصاً فى وحدات العناية المكثفة (ICU) ورعاية الحالات الحرجة والتى يرغب الطبيب أن يعرفها عن مريضه. وكل تغير يحدث فى حالته. وهكذا يتم بمراقبة الشاشة الموصلة بالأجهزة لحالات المرضي إلا أن التعب والإعياء لهيئة التمريض قد يجعل المتابعة صعبة وغير فعالة- لذلك استخدمت الحواسيب التى تعطي إشارات لهيئة التمريض عن كل تغير حرج يحدث لحالة ما وينبه إلى سرعة الاتصال بها وقد إخذ فى الاعتبار الآثار التى قد تنشأ من هزات مصادر الكهرباء حتي لا تكون سبباً فى الإزعاج.

إختبار تفاعل الجرعات drug – test interaction:

كثيراً ما يقرر لمريض ما جرعات من أدوية مختلفة تؤخذ فى نفس الوقت وقد يحدث أن تتفاعل هذه الجرعات مع بعضها لتعطي أثر غير مفيد وقد يكون ضار- لذلك تقوم المعامل بعمل ما يسمي بتفاعل الجرعات مع بعضها البعض (Drug- Drug interaction) وتدوين النتائج- كما أن هذا قد يمكن إستنتاجه من من حالة المريض- وسواء كان الناتج السلبي من المريض أو من المعمل فإن النتائج تجمع وتخزن فى الحاسب تحت رقم ملف المريض وأسمه من جانب وتضاف إلى ملف التفاعلات بين الجرعات بإعتباره ملف عام.

وفى حالة اتخاذ الطبيب قرار لنوع الدواء وجرعاته يستدعي ملف المريض ليري أن كان لهذه الجرعات نتائج غير إيجابية أم لا، ثم يستدعي الملف العام ليري الأثر الجاني لهذه الجرعات أن وجد- كما أنه أثناء متابعة المريض عليه أن يسجل جميع الملاحظات عن المريض وتأثير الجرعات قد يضيف شيئاً إلى ملف الجرعات العام بالطرق المشروعة.

وقد قامت الأبحاث العلمية بعمل ملف لوصف الجرعات الدوائية لكل دواء (Prescribing Drug Dosage) لتسجل عليه جميع الآثار الجانبية أن وجدت- وأن كان لهذه الجرعات آثار إيجابية لأكثر من مرض وعلى الطبيب الذى يلجأ لهذا الملف من على الحاسب أن يضع فى حساباته بعض العوامل التى تجعل الجرعة مناسبة لحالة المريض المعني وعدد مرات تناولها بالنسبة للزمن وعدد مرات الجرعة فى فترة العلاج مسترشداً بالملف المذكور.

استخدام الحاسب فى اختبار وظائف الرئة

Pulmonary function testing

لاختبار وظائف الرئة فإن المعالج يحتاج إن يعرف القدرة على التنفس العميق فى الشهيق والزفير فى فترة زمنية ما ويتم معرفة هذا بجهاز يسمي إسبيروميتر (Spirometer) الذى يرسم العلاقة بين معدل سريان الهواء والزمن وبأستخدام معادلات رياضية يستطيع المعالج معرفة أن كانت وظائف الرئة تؤدي بكفاءة أم أنها

تحتاج إلى مساعدة عن طريق العلاج وذلك بالمقارنة بنفس النتائج لحالات مماثلة صحيحة صحياً. وقد استخدم لهذا الغرض حاسب موصل بالإسبيروميتر حيث تحول النبضات فى الرئتين إلى أرقام بإستخدام ثم تقارن هذه الأرقام بمثيلتها للأصحاء ثم يعطي الحاسب تقرير كامل عن وظائف الرئة.

الحاسب والتقارير الطبية وأرشيف المستشفيات

Medical record- Hospital Book Keeping

تعتبر التقارير الطبية النمطية غير مواكبة لروح العصر وغير متقدمة إدارياً. والحصول عليها فى وقت العسرة لمتابعة حالة حرجة أمر صعب- لذلك كان لفكرة عمل ملف لكل مريض تحت أسمه ورقمه القومي أمر يخدم الخدمة الحالة الصحية للمواطنين بشكل عام وذلك بإدخال التاريخ المرضي لكل مريض بشكل دقيق وسهل ويسهل الحصول عليه عند الحاجة- وفى كل حالة يستطيع الطبيب المعالج وهيئة التمريض الحصول على صورة من هذا الملف كلما لزم للإسترشاد به أو الإضافة إليه.

ودوائر الحفظ فى المستشفيات كثيرة سواء تلك التى تتعلق بملفات المرض والتى هي جزء من ملف المريض الذى يحمل رقمه القومي- أو ملفات الإحصاءات للمستشفي عن عدد المرضي ونوعية الأمراض التى تعالج وتكاليف العلاجات المختلفة وأنواع العمليات الجراحية وعدد مرات تكرارها لنفس المريض أو لغيره- وخدمات الأطباء وهيئة التمريض والإداريون وإمداد المستشفي بالأدوية والمواد المساعدة (الأكسجين، والخيوط الجراحية، القطن الطبي، المواد المشعة والأجهزة العلمية وأجهزة التحليل وأجهزة الحاسوب، والزجاجيات وأدوات التطعيم والكيماويات وعمليات الصيانة اللازمة للمبني والأجهزة، والنظافة العامة).

كل ذلك يصنف وتُعد لها ملفات على الحاسب لتسهيل المتابعة. ويتم الربط والتنسيق بين جميع المستشفيات بواسطة الحاسب لمعرفة كيف يتم الحصول على ما فيه نقص من مادة أو خبرة- كما يتم ذلك فى دوائر متدرجة الكبر من أول العيادات

البسيطة الخاصة إلى أكبر دائرة وهي وزارة الصحة لإمكان معرفة أنسب موقع لعلاج حالة ما من حيث الخبرة والمعدة.

ويمكن عمل جسور علاجية بين بلاد العالم المختلفة عن طريق الشبكات الذكيـــة (Inter net) لمعرفة إمكانية تغطية القصور فى دولة لعلاج حالة ما قصرت إمكانيات الدولة الأم على تقديمها من حيث الخبرة والإمكانيات الأخري مثل الأجهزة وغيرها.


الباب الثانى


فيزياء العلاج بالإشعاع
Physics of radiation therapy

الباب الثاني

فيزيـــاء العـلاج بالإشعـاع

Physics of radiation therapy

مقدمة

كان العلاج بالإشعاع فى بداية أمره مساعداً للتشخيص- وعندما تم التوصل إلـــى إشعاع طاقاته عالية (ميجا فولت) بدأ العلاج بالإشعاع. هذا الأمـــر أدي إلـــى وجـــود البتاترون (Betatron) الذي يُعجل الإلكترونات إلى طاقات عالية (42 Mev) حتـــي تعطي أشعة سينية شدتها عالية قادرة على الاختراق إلى أعماق أكبر وبذلك استخدمت هذه الأشعة فى علاج الأورام السرطانية.

وعلاج الأورام السرطانية بالإشعاع تعتمد على دقة وتحديد الجرعة المناسبة وقد وجد أن الجرعات الأقل من المطلوب لا تقتل الورم بكامله بل تترك منه بقايا تمكنه من النمو والإنتشار مرة أخري. والجرعات الزائدة عن المطلوب تقتل الورم السرطاني كما تقتل أنسجة أخري مجاورة وهي فى حالة طبيعية.

وحدة الجرعات فى العلاج الإشعاعي

The dose unit in radiotherapy

كانت الوحدة المستخدمة قديماً هي جرعة الارتما (The erythema dose) وهي كمية الأشعة السينية التى تسبب إحمرار الجلد (حمرة داكنة) (Redding of skin) ثم

قسيت الجرعة بعد ذلك بوحدة الرنتجن (r) (Roentgens) وقد بنيت هذه الوحدة على فكرة تأين الهواء. ثم بعد ذلك استخدام لفظ الجرعة الممتصة (Radiation absorbed dose). وتعرف الراد على أنها مائة إرج/جرام. أى مائة إرج من الإشعاع المستخدم والذى يمُتص فى جرام واحد من الأنسجة المعالجة (100 erg/ g = 1Rad)- وتستخدم وحدة الراد بمعني الجرعة الممتصة أو الجرعة لأي نوع من الإشعاع- ولكن الرنتجن يستخدم فقط للإشعاع السني أو الجامي فى الهواء. ويرتبط الراد والرنتجن بحيث إذا تعرضت أنسجة لينة (ماء) لأشعة سينية أو جامية بمقدار واحد رنتجن فإن الجرعة الممتصة تكون فى حدود واحد راد، وفى حالة العظام فإن النسبة بين الراد والرنتجن تكون فى حدود (4) أي أن كل واحد روتنجن إشعاع سيني أو جامي فى العظام يعطي جرعة ممتصة قدرها 4راد. إلا أن هذه النسبة الآن أصبحت واحدة لكل من الأنسجة اللّينة والعظام ثم وجدت بعد ذلك وحدة الجراي (Gray) وهي الوحدة التى يقاس بها مقدار الجرعة الممتصة فى النظام العالمى للوحدات. وهى عبارة عن واحد جول من الطاقة الممتصه لكل كيلو جرام من الأنسجة، وهي ترتبط بالراد أي أن الجراي يساوي 100راد (1Gy= 100rad). وهذه الوحدة توضح اثر الأكسجين فى العلاج بالإشعاع.

أساسيات العلاج بالإشعاع Principle of radiation therapy

القاعدة الأساسية فى العلاج بالإشعاع هي تعظيم أثر الإشعاع فى قتل الأورام بقدر الإمكان، وتقليل دور الإشعاع فى قتل الأنسجة العادية بقدر الإمكان. ويحدث ذلك بيتوجيه حزمة الإشعاع وتسليطها على الورم من جميع الاتجاهات لإعطاء جرعة كبيرة فى وقت واحد ويجب أن نلاحظ أن بعض الأنسجة العادية تكون حساسة أكثر من غيرها ولذلك يؤخذ ذلك فى الاعتبار عند وضع خطة العلاج، والإشعاع المؤين سواء كان أشعة سينية أوَ أشعة جاما فإنه يعمل على إبعاد إلكترونات من الذرات كي تصبح بعد ذلك فى صورة أيونات كما أنها تكُسر الروابط بين الجزيئات ليسهل تأين

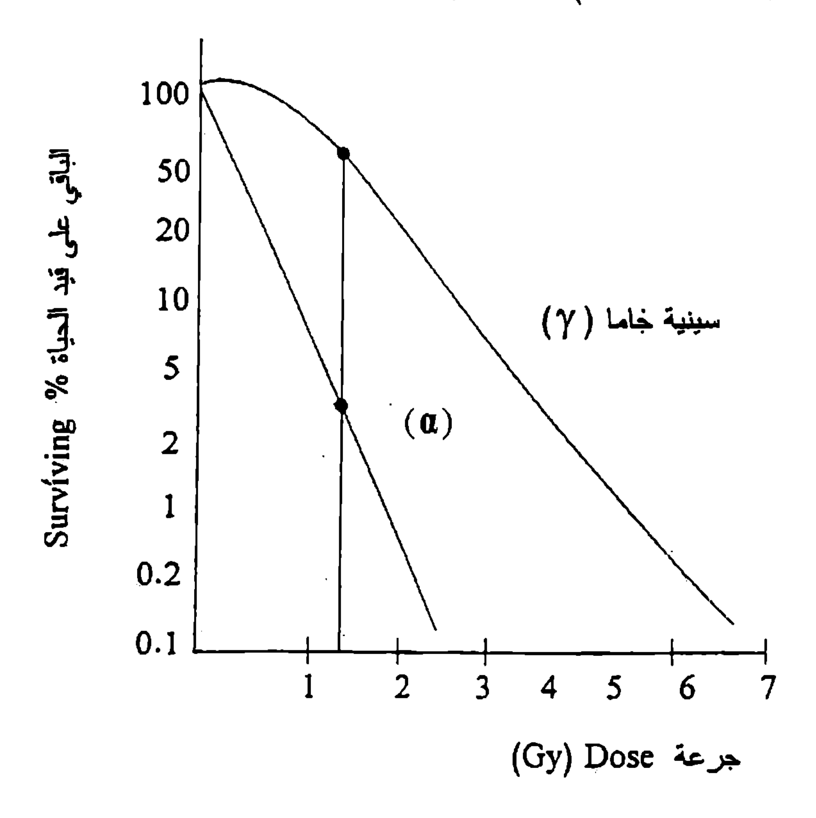
ذراتها.

وهذه الأيونات تعمل كأجسام سامة فتقتل الخلايا المريضة المؤين ذراتها العوامل التى تؤثر على قتل الخلايا هي: نوع الإشعاع، نوع الخلايا، الوسط المحيط بالخلايا.

كما يجب أن نعلم أن نواة لخلية أكثر حساسية للإشعاع من السيتوبلازم المحيط بها.

وهناك أنواع من الإشعاع أثرها القاتل أكثر من غيرها وهذا ما يسمي بالأثر النسبي البيولوجي للإشعاع (Relative biological effect) (RBE) والإشعاع الذى يكون أثره المؤين كثيف فإن أثره القاتل (lethal) كبير ونه أثر بيولوجي نسبي أكبر من الوحدة. والأثر البيولوجي النسبي للإلكترونات أو أشعة بيتا هو الوحدة وكذلك للأشعة السينية والأشعة الجامية، أما النيوترونات السريعة فهو خمسة ولجسيمات ألفا يكون أكبر من عشرة.

وشكل (2-1) يوضح أثر الجرعات الإشعاعية المختلفة على نسبة شفاء الخلايا السرطانية ومن هذا الشكل نري أنه عند الجرعات المخففة من لأشعة السينية والجامية يكون تناقص الشفاء بطئ أي أن الأثر البيولوجي النسبي للقتل يكون بطئ وذلك غير موجود بإستخدام جسميات ألفا، ولذل نلاحظ أن الجرعة 1.4 جراي تؤدي إلى قتل 50% من الورم بواسطة أشعة جاما أو الأشعة السينية في الوقت التى يتم شفاء حوالي 2.5% بأستخدام أشعة ألفا وبذلك تصل نسبة القتل 47.5% أي أن الأثر البيولوجي لأشعة ألفا كبير. وتسمي الجرعة الإشعاعية التى تقتل 50% من الأحياء بالجرعة القاتلة لــ 50% (lethal does (LD_{50})of 50%) بإعتبار أن الإشعاع يعطي بشكل متجانس على كل النسيج في وقت صغير، وإذا حصلنا على الجرعة التى تقتل 50% من الخلايا السرطانية فى 30يوم فانها تكتب LD_{50}^{30} أو $LD_{50(30)}$، والجرعة اللازمة لإحداث LD_{50}^{30} فى البشر هي فى حدود 4.5 Gy.



شكل (1-2)

وقد لوحظ أن الخلايا السرطانية المشععة فى وجود الأكسجين تكون أسهل قــتلاً من الخلايا السرطانية المشععة فى عدم وجود الأكسجين، (لاحظ ذلك العــالم جــراي) ونظراً لأنه فى الأورام السرطانية الكبيرة يكون الإمداد بالدم للخلايا المركزيــة قليــل وبالتالي الإمداد بالأكسجين فيها يكون قليل الأمر الذى يقلل معدل قتلها. كما لوحظ أنه عندما يشعع الورم السرطاني فإن الخلايا السرطانية ذات الصحة الطبية والتى تمد بالدم بشكل جيد فإنها تقتل وأن الخلايا لسرطانية التى يصلها الدم بشكل ضعيف فإنها تكون أكثر مقاومة للإشعاع (Radioresistant) وتظل على قيد الحياة، هذه الخلايا قد تتكاثر بالانقسام وتنمي المرض من جديد، ويحدث هذا بعد جرعات عديدة من الإشعاع، وكل الإشاعات التى لها أثر بيولوجي نسبي كبير (RBE) وأكبــر مــن الوحــدةتقلل دور الأكسجين المساعد.

وقد أقترح فى حالة الأورام السرطانية الكبيرة والمناطق المقاومة للإشعاع فى بعض الأورام (مركز الأورام الكبيرة) فإن الجسم كله يُمد بجرعة زائدة من الأكسجين.

وعندما يصل الأكسجين إلى الخلايا المتعطشة إليه (Oxygen starved cell) فإنها تقتل بسهولة.

التخطيط للعلاج بالإشعاع

Planning in the radiation treatment

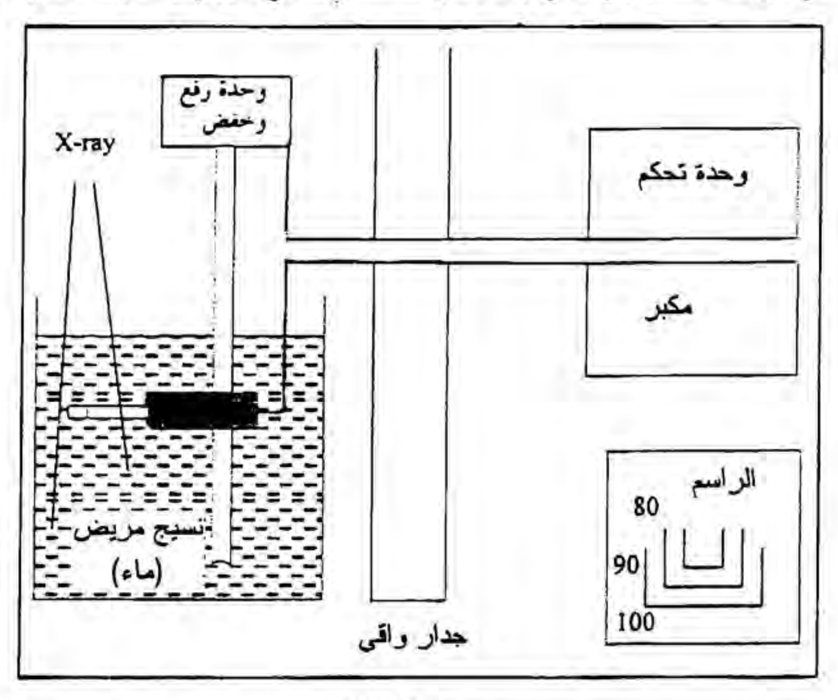
يُناط بالفيزيائي الذى يعمل فى العلاج الإشعاعي الآتي:

1. **معايرة جهاز الإشعاع:** أي معرفة كمية الإشعاع- والجرعة الأشعاعية تحت الظروف العادية أخذاً فى الاعتبار عند المعايرة كم مقدار الجرعة بالجراي التى ينتجها الجهاز فى الدقيقة فى وحدة الحجوم الأشعاعية وتحت ظروف تشغيل مختلفة باعتبار أن بعد الجهاز عن لنسيج المعالج ثابت.
2. **يحدد الجرعة المناسبة للورم والأنسجة الطبيعية فى المريض:** ويجب أن يأخذ فى الاعتبار تضاريس النسيج المعرض للإشعاع كما يأخذ فى الاعتبار تضاريس العظام فى الجزء المعالج من المريض وحجم الفراغات الهوائية مثل الرئتين.
3. **يحدد الوضع الصحيح للمريض:** الذى سوف تسقط على جسمه الجرعات الصحيحة من الإشعاع.

ولتحقيق الخطوة الأولي فإن المعايرة تتم فى المعامل القياسية بشكل دوري للاطمئنان على سلامة الجهاز وأن الدقة فى الحصول على النتائج بشكل دوري تكون فى حدود 1%، ولتعين توزيع الإشعاع فى شعاع ما فإن كاشف الإشعاع يتحرك داخل مريض (إناء به ماء) يسقط عليه الإشعاع ويتحرك هذا الكاشف بشكل آلي كما يتحرك آخر مثله عمودي عليه، والنقاط التى لها نفس الجرعة الإشعاعية ترسم كمنحني متصل

(Isodose)، والمنحني الذى له أقصي شدة إشعاع يسمي 100% وكذلك المنحني الذى شدة إشعاعه أقل تسمي، 10%، 90%، 80%....... والشكل (2-2) يوضح ذات الجرعات الإشعاعية المتساوية فى شبح مريض (ماء).

وقبل البدء فى العلاج فإنه يفحص المريض من قبل الطبيب المعالج بشكل دقيق ليحدد الورم كماً وحجماً، وموضعاً ويستخدم فى ذلك جميع وسائل الفحص المباشرة، واستخدام الصورة التشخيصية بالأشعة السينية، والموجات الفوق صوتية والتصوير الإشعاعي فى الطب النووي حتي يصل إلى قناعة بموضع الورم وتحديده كماً وحجماً.



شكل (2-2)

وعلى ضوء ذلك يتحدد موضع المريض من جهاز الإشعاع وحجم الشعاع المشع الذى يستخدم فى العلاج، ويتم عمل علامات بذلك على الموضع المناسب فى جسم المريض. وللوقاية تستخدم أقنعة للمناطق المحيطة بالمنطقة التى تحت العلاج من الرصاص حتي لا تتأثر بالأشعاع حيث تتغير أشكال بتغير وضع الجسم، ويتم إسقاط

الأشعة على منطقة الورم من اتجاهات عديدة لتعظيم عملية قتل الورم كماً، وذلك يمكن من تفادي التأثير على الأنسجة العادية، ويلاحظ عدم حركة المريض لأن ذلك قد يؤدي إلى تغير موضع التصويب الأمر الذى يؤدي إلى أضرار بليغة. ويجب وقف الإمداد بالجرعة إذا زادت حركة المريض. ولذلك حرصت الأجهزة الحديثة على أن تكون هي المتحركة فى كل اتجاه حول المريض الثابت بشكل دائم وذلك لسكون أعضاء المريض الداخلية وقد تكون هي المقصودة بالعلاج ويتغير شكلها حسب حركة المريض أي أن الشعاع الإشعاعي سقط على المكان المطلوب فإن صورة بالأشعة السينية تؤخذ من نفس الموضع الذى أسقطت منه الجرعة الإشعاعية لنري الشكل التشريحي فقط وليس تشخيص ولكن للتأكد من إصابة الهدف، وفى بعض حالات المرض المتقدمة يكون الهدف من العلاج هو تقليل الآلام فقط وهذا لا تستخدم فيه الأجهزة ذات التكلفة العالية بل تستخدم فيه أجهزة تستهلك طاقة متوسطة (orthovoltage)- medium voltage.

ومن أهم وسائل العلاج الإشعاعي هو استخدام ^{60}Co الذي يعطي أشعة جاما طاقتها (1.25Mev) مليون إليكتروني فولت. وهذه تمثل أشعة سينية خرجت من جهاز يعمل على جهد قدره (3Mev). ووحدة الكوبلت هذه تكون مزودة بمفاعل وتسمي بقنبلة الكوبلت Cobalt- teletherapty or cobalt bomb unit، وكثير منها مصمم ليدور حول المريض، وأشعة جاما الناتجة من وحدة الكوبلت ^{60}Co تُمتص فى الأنسجة وتعطي إلكترونات طاقتها عالية ومعظمها يتحرك فى اتجاه الشعاع الأصلي. وعندما تصل أشعة جاما إلى عمق مليمترات قليلة تحت الجلد فإن عدد الإلكترونات المتحررة يزداد وتزداد الطاقة المترسبة منها (الحد الأقصي 5مم تحت الجلد)، وقد تصل شدة الإشعاع المكثف الناتج من ^{60}Co إلى 350 TBq (10^4 ci) ويجب إمتصاص كل الأشعة الناتجة والغير مطلوبة حيث أن التحلل (disintegration) لا يمكن إيقافه.

لذلك يكون المصدر (Source) موجود فى حظيرة من الرصاص يصل وزنها إلى عدة أطنان، ومن الطبيعي أن يضمحل ^{60}Co على ضوء فترة نصف الحياة

لـــ5.3سنه ويستبدل كل ثماني سنوات. وشدة الإشعاع الخارج من ^{60}Co فـــى حـــدود 350TBq وهو يعطي 200 رونتجن/ الدقيقة على بعد متر واحد من المصدر.

ويستغرق العلاج باستخدام ^{60}Co حوالي عشرين يوماً بجرعة قدرها 3Gy لمـــدة دقيقتين (مع استبعاد الاجازات).

وقد استحدث مفاعل خطي إلكتروني (Electron linear accelarator) بجهـــد قدره 4مليون فولت فى حجم وحدة الكوبلت، وهذا يعطي شعاعاً كثيفاً طـــول الوقـــت ويخرج هذا الشعاع من مخرج أصغر من فتحة لمصدر وحدة الكوبلث وبذلك يعطـــي خطوط ذات شدة إشاعا واحـــدة (isodoes curves) واضـــحة جـــداً ويغطـــي كـــل استخدامات وحـــدة الكوبلـــث فـــى زمـــن أقـــل. ويمتـــاز العـــلاج بالجهـــد العـــالي (megavolttherpay) **بالأتي:**

1. تمتص الجرعات، القصوي تحت الجلد وهذا التأثير الرشي للجلد (skin spraying effect) يقلل الألم أثناء العلاج (منطقة الإحساس فى الجلد).
2. عادة ما تكون الطاقات العالية فى مدي التأثير الكمبتوني (compton effect) وهذا لا يعطي جرعات عالية للعظام.
3. قدرة الإشعاع على الاختراق الكبير تسمح بعلاج الأورام بشكل أحسن عندما تكون على أعماق كبيرة.

العـــلاج الإشـعـاعي علـــى مسـافـات صغيـرة

short- distance radiotherapy- branchy therapy

استخدام الراديوم لعلاج السرطان منذ زمن بعيد، حيث يوضح مصدر من الراديوم (Source of radium)مباشرة على سطح الورم (إذا كان ذلك سهلاً) وخاصة لعلاج سرطان الأعضاء التناسلية (Reproductive organs) فى السيدات، ويمتاز العـــلاج عن قرب (Brachytherapy) بأنه يعطي أكبر جرعة إشعاعية إلي الـــرم مـــع أقـــل

جرعة للأنسجة المحيطة به، وأكبر سلبية له هو عدم تجانس الجرعة لشدة قرب المصدر من الورم، إلا أن إستخدام مصادر يؤدى إلى تجانس الجرعة كما أن من سلبياته قرب المصالح من المصدر حيث يقل أمانة ويقل آمان هيئة التمريض لكون الجسم تحت العلاج فيكون بدوره مصدر للإشعاع، وتكون الحيطة واجبة حيث لا يقرب المريض أحد إلا عند اللزوم وتمُنع الممرضات الحوامل فى هذه الظروف لحساسية الأجنة للإشعاع.

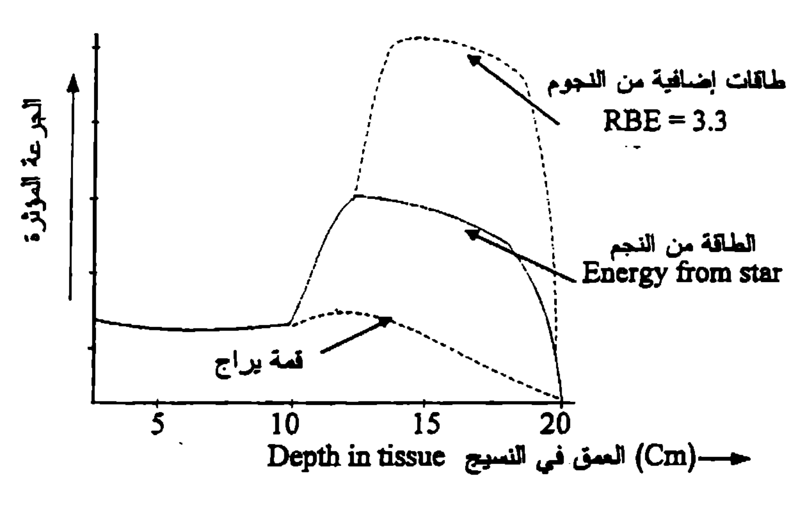
هذا ويجب على المعالج التقاط المصادر فور انتهاء زمن الجرعة ويضعها فى حظائرها. وتُستخدم إبر الراديوم فى علاج أورام الخد، حيث يتم وضعها فى أماكن موزعة بحيث تعطي جرعة متوازنة ومتجانسة على كل منطقة الورم (وتترك لمدة سبعة أيام)، وقد تستعمل حصوات غاز الرادون (Ra^{226}) الذى هو إبنة للراديوم وفترة نصف حياته 3.8يوم (الحصوات كبسولات من الذهب فيها الغاز) ($1\times3mm$)، ويمكن استخدام حبيبات ن الذهب المشع Au^{198} وفترة نصف حياته 2.7يوم، وكذلك يمكن استخدام اليود I^{126} المشع الذي فترة نص حياته 60يوماً وجميع هذه المصادر لا يمكن إعادة توزيعها لتعديل التوزيع بمجرد زرعها فى موضعها، ويشذ عن هذه القاعدة الايتريوم المشع y^{90}. حيث يعلق إلى جوار المنطقة المراد علاجها وفترة نصف حياته 64يوم يعطي خلالها جُسيمات بيتا طاقتها 2.27مليون إلكترون فولت كما يستخدم الاسترانتشيوم المشع sr^{90} الذى يعطي أشعة بيتا بطاقة 0.54مليون إلكترون فولت وفترة نصف حياته 28يوم، وتستطيع هذه الأشعة إختراق 4مم وهى مثالية فى علاج سرطان العين حيث لا تستطيع الوصول إلى عدسة العين ويوضع لمدة ثواني معدودة. وكل من y^{90}، Sr^{90} لا يعطيان إشعاع جاما إلا أن قربها من مادة عددها الذري كبير مثل الرصاص قد تُنتج أشعة سينية طاقتها عالية كأثر لأشعة بيتا، ولذلك يحفظ كل من y^{90}، sr^{90} فى حظائر من البلاستيك التى تمتص أشعة بيتا والأشعة السينية الناتجة.

ومن مصادر الإشعاع الآخري:

1. استخدام الإلكترونات السريعة وذلك بعد إيجاد الآليات التى تعجل الإلكترونات مثل معجلات الطاقات العالية (high energy accelerators) ومعجل لبتا (Betatrons) والمعجلات الخطية (linear accelerators)، وبذلك تستخدم الإلكترونات ذات الطاقات العالية (Mev مليون إلكترون فولت) فى العلاج بالإشعاع (Radiotherapy).

2. وتستخدم البروتونات وجسميات ألفا ذات الطاقات العالية (أكبر من 100Mev) فى علاج الأورام حيث أنها تُعطي طاقاتها بالكامل أو معظمها بمجرد دخولها منطقة الورم فى منطقة تعرف بقمة براج (Bragg- peak) وتتحمس ذلك بفعل الستة (الباي) على سطح جلد الورم The skin sparing effect.

3. وتستخدم جسيمات أخري تسمي الميزونات السالبة (π) mesons - فى العلاج بالإشعاع وهي جسيمات داخل أنوية المودا المشعة ولكن فترة حياتها 10^{-8} ثانية ويمكن الحصول عليها من التفاعلات النووية بإستخدام المفالعات النووية. وقد تم الحصول على شعاع منها بهدف العلاج بالإشعاع، إلاا أن وسائل الحماية من شعاع الميزونات السالبة كثيرة جداً ومكلفة للغاية وذلك لكون طاقته عالية وقوة إختراقه عالية لذلك تستخدم بشكل نادر لا لصعوبة لحصول عليها ولكن لصعوبة الآمان منها، وهذا الشعاع يؤين النسيج الذى يسير خلاله وفى آخر رحلته يُمتص فى أحد أنوية النسيج التى تنفجر وتعطي ضوءاً لامعاً وكأنه نجم (Star) وتنطلق مع هذا الانفجار طاقة فى حدود 30مليون ألكترون فولت محطمة النواة إلى أجزاء (fragments) ومؤينة لكل ما يحيط بمنطقة الانفجار. والأثر النسبي البيولوجي لهذا الانفجار المحطم في حدود 3.3مرة مثل للأثر النسبي البيولوجي للإلكترونات المؤينة وشكل (3-2) يوضح قمة براج وما يضاف إليها من طاقات من جراء الانفجار فى آخر رحلة الباي ميزون السالب (π) mesons .

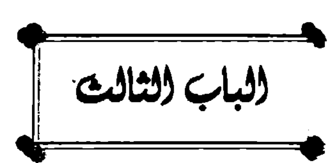


شكل (2-3)

4. وتستخدم النيترونات فى علاج الأورام السرطانية منذ منتصف القرن العشرين إلا أن النتائج كانت غير مشجعة نظراً للآثار الجانبية لهذا الإشعاع فى ذلك الوقت، ولكن الآن تستخدم النيترونات السريعة فى العلاج بالإشعاع مع تقليل الآثار الجانبية، ونحصل على هذه النيترونات من المعجلات. ومن أشهرها معجل ديوتيريوم – ترتيوم ((Deuteron – tritum (D-T)). وليتم بذلك علاج مريض فى عشرة دقائق فإن معدل إنتاج النيوترونات يجب أن يكون 10^{11} نيوترون /ثانية.

ويستخدم العلاج النيوتروني الناتج من عنصر صناعي مشع بزرعه فى الورم مثل استخدام عنصر كاليفورنيوم (Californium) cf^{252} الصانعي المشع والذى يعطي نيوترونات بالإضافة إل أشعة جاما، والنيوترونات السريعة هذه تعطي طاقتها للأنسجة عند التصادم بالبروتونات (أنوية الهيدروجين Hydrogen nuclei) التى تؤين بدورها ذرات الأنسجة عند توقف بشكل كثيف. وقد وجود أن الأثر النسبي البيولوجي للنيوترونات السريعة (RBE) فى حدود 5.

والتأين المكثف الناتج من النيوتوونات السريعة أو الميزونات السالبة mesons(π) يقلل من دور الأكسجين فى علاج الأورام السرطانية حتي يكون دور الإشعاع فعّال.



فيزياء الطب النووي

Radioisotopes in medicine

الباب الثالث

فيزياء الطب النووي – النظائر المشعة فى الطب

Radioisotopes in medicine- physics of nuclear medicine

مقدمة

منذ عقود خلت تم إكتشاف مواد لها نشاط إشعاعي الأمر الذى يعني أن أنوية هذ العناصر ليست مستقرة ونشاطها الإشعاعي وإخراجها أشعة جاما (δ) وجسيمات ألفا الموجبة وجسيمات بيتا السالبة هو الطريق الذى يؤدي إلى أستقرار أنويتها.

وجسيمات ألفا (α) يتوقف عن الحركة بعد بضع سنتمترات قليلة عند مرورها فى الهواء وهي نواة ذرة الهليوم، وجسيمات بيتا (β) لها قوة إختراق أكبر حيث تخترق الهواء لعدة أمتار قليلة وتخترق الأنسجة لعدة ملليمترات وهي فى حقيقتها إلكترونات معُجلة أما أشعة جاما فلها قوة إختراق كبيرة وهي موجات كهرومغناطيسية لا تُرى مثل الأشعة السينية لأن طاقتها عالية، أما طاقة جسيمات ألفا وجاما يحددها المصدر، وجسيمات بيتا يكون لها طاقات متعددة حدها طاقة المصدر.

لكل عنصر عدد محدد من البروتونات فى نواته ومثال ذلك الكربون والنيتروجين، والأكسجين وعدد البروتينات فيها على الترتيب 6، 7، 8. وقد يختلف عدد النيترونات بنفس العنصر وبذلك تسمي نظائر Isotopes، فإذا كانت نظائر لعنصر غير مشع تسمي نظائر مستقرة Stable Isotope أما إذا كانت نظائر لعنصر مشع فهي تسمي نظائر غير مستقرة Radioactive isotopes ومثال ذلك الكربون له

نظائر مستقرة هما $C^{12} \& C^{13}$ كما أ، له نظــائر غيــر مــستقرة (مــشعة) مــثلاً $C^{11} \& C^{14}$.

وقد ساعدت المواد المشعة على تطوير فهم النواة كما ساعدت على فهــم كيــف يمكن أن تستخدم فى العلاج وكيف يتم تتبع أي خيط يساعد فى ذلك. كما ساعد استخدام المواد المشعة فى العلاج علــى تطــوير المعجــلات النوويــة (nuclear reactors) وإمكانية الحصول على مواد مشعة صناعية بكميات كبيرة لأستخدامها فى التــشخيص والأبحاث والعلاج.

وأفضل العناصر المشعة فى الاستخدامات الطبية تلك التى ينبعــث منهــا أشــعة جاما δ وذلك لما تمتاز به من قوة اختراق تمكن من متابعتها خارج الجــسم إذا كــان المصدر داخله. ويتم ذلك بإستخدام كميات صغيرة جداً من المواد المشعة التى تــؤدي الغرض ولا تضر بوظائف الجسم.

والعناصر المشعة تنبعث منها الإشعاعات التى ذكرت بمعدلات تحكمهــا قــوانين لتتحول ما مادة مشعة إلى مادة مشعة أخري فى سلسلة طويلة تستغرق أعواماً عديــدة حتي تصل إلى النظير المستقر لها وهو الرصاص ومثال ذلك.

$$\xrightarrow[\beta+\gamma]{1.14min} U^{234}_{92} \xrightarrow[\alpha]{2.69\times10^{5}Y} Th^{230}_{90} \xrightarrow[\alpha,\ \gamma]{8.20\times10^{4}Y} Ra^{226}_{88}$$

$$U^{283}_{92} \xrightarrow[\alpha]{4.5\times10^{19}Y} Th^{234}_{90} \xrightarrow[\beta+\gamma]{24.1D} Pa^{234}_{91}$$

$$\xrightarrow[\beta+\gamma]{1600Y} Rn^{222}_{86} \xrightarrow[\alpha]{3.8D} Po^{218}_{84} \xrightarrow[\alpha]{3.05\ min} Pb^{214}_{82}$$

$$\xrightarrow[\beta,\gamma]{26.8\ min} Bi^{214}_{83} \xrightarrow[\alpha,\beta,\gamma]{19.7\ min} Po^{214}_{84} \xrightarrow[\alpha]{1.5\times10^{-4}sec} Pb^{210}_{82}$$

$$\xrightarrow[\beta,\gamma]{28.2y} Bi^{210}_{83} \xrightarrow[\beta]{4.97y} Po^{210}_{84} \xrightarrow[\alpha,\beta]{139D} Pb^{206}_{82}$$

والأخير هو عنصر مستقر (Stable).

وهناك إمكانية كبيرة للعناصر الثقيلة للتحلل إلى عناصر أخري نظيرة فاليود مثلا له خمسة عشرة نظير مشع(I^{127}مستقر ⟵ I^{131}مشع) بينما الهيدروجين له نظير واحد والعناصر المشعة تعرف بإشعاعاتها التى لا تغيرها فمثلا U_{92}^{238} يشع جسيما ألفا ولا يشع غيرها وكذلك الرصاص المشع Pb_{92}^{238} يشع (β,δ)ولا يغيرهما وتعتبر الإشعاعات بصمة العنصر التى لا تتغير من حيث النوع والطاقة.

ومن بين العناصر المشعة الصناعية TC^{99m} وهو شبة مستقر (metastable) ويضمحل بعد أن يعطي إشعاع جاما فقط. وتكون طاقة نواة المادة الناتجة (الأبنة) (daughter) أقل من طاقة المادة الأصلية (الأب) (Parent) فمثلاً عنصر تكنيتيوم Technetium $^{99\,m}Tc \xrightarrow[\delta]{140\ (kev)} 99^{Tc}$ (Tc) الشبه مستقر يتحول إلى صورته المستقرة بإعطاء أشعة جاما طاقتها (140kev).

وهذه الطاقة الكافية فى التطبيقات الطبية حيث تخترق طبقة من الرصاص سمكيا ميللمترات قليلة، وإستخدام المودا الشبه مستقرة داخل الجسم يعتبر من عوامل الأمان لغياب إشعاعات بيتا وبذلك تقل الجرعة الإشعاعية للمريض (Reduce the radiation dose to patient).

والمفاعلا النووية (Nuclear reactors) تنتج المواد المشعة صناعيا بزيادة عدد نيوتروناتها وبذلك تتحول المواد المستقرة إلى مواد مشعة، ولتتحول هذه المواد إلى موّاد مستقرة مرة أخري فإنها تعطي جسيمات بيتا (β)وتزداد إيجابية (شحنتها الموجبة) أى النواة الناتجة بعد الإشعاع.

وهناك نوع من العناصر المشعة الصناعية يعود إلى حالته من الأستقرار من خلال إشعاعه جسيمات بيتا موجبة (بوزترونات) (Positrons) وشحنتها تساوي شحنة الإلكترون غير أنها موجبة، ومثال ذلك الحديد المشع Fe^{18} يعود إلى حالة إستقرار

بإعطاء بوزوترونات (Positrons) وهذا البوزوترن عندما يؤدي دوره يفني فى معية إلكترون ويعطـي فوتـون كتلتـه (0.511mev). فـى عمليـة الفنـاء الإشـعاعي (Annihilation radiation).

وتضمحل النواة التى زادت إيجابيتها عند محاولة معادلة شحنتها بإمتصاص أحـد إلكتروناتها وخصوصا القريب منها فى المستوي- k والفراغ الذى يظهـر فـى هـذا المدار ما يلبث أن يملأ بإلكترون آخر من مستويات طاقة عليا ويؤدي ذلك إلى انبعاث الأشعة السينية.

وقد يحدث ذلك فى مصاحبة شئ آخر مماثل ومفيد- فمثلا اليود المشع I^{125} عندما تمتص نواته أحد إلكتروناتها لتصبح زينون 125(x) فإن النواة يصبح لديها فائض من الطاقة قدره 35kev. قد ينبعث على شكل أشعة جاما طاقتها هذه القيمة، وإذا لم يحدث ذلك فإن النواة تعطي هذه الطاقة لأحد إلكترونات المستوي k وتـسمي هـذه العمليـة بـالتحول الـداخلي (Internal conversion) أو الأنتقـال الأزومـري Isomeric transition(IT) عند ذلك ينبعث خطان من طيف الأشعة السينية، وبذلك تكون نتيجة اضمحلال كل مائة نواة من اليود المشع I^{125} تنطلـق أشـعة سـينية طاقتهـا 140k بالإضافة إلى بعض K_B، أشعة جامات طاقتها 35kev وكل المودا المشعة لها خاصية نصف الحياة (Half- life) وهي الفترة الزمنية اللازمة لتصبح كمية المـادة المـشعة نصف قيمتها الابتدائية $(T_1/2)$ وترتبط المادة الأم بالمادة الابنة عبر عملية الاضمحلال بالقانون.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

حيث A نشاطية المادة الابنة (Activity)، A_0 نـشاطية المـادة الأم، t زمـن الاضمحلال، λ معدل الاضمحلال. وقد تكتب هذه المعادلة على الصورة:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

حيث N_0، N عدد الأنوية للذرة الأم والذرة الابنة فى وحدة الحجوم بإعتبار أن $A = \lambda N$ ، $A_0 = \lambda N_0$ وبالتالي يرتبط معامل الاضمحلال λ بفترة نصف الحياة **بالمعادلة:**

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ولما كانت وحدات $T_1/2$ وحدات زمن فإن وحدات λ هي وحدات مقلوب الزمن، ومن ثم فإن مقلوب معامل الاضمحلال decay constant $1/\lambda$ هو العمر المتوسط للمادة المشعة. فمثلاً $\lambda = 0.01hr^{-1}$ للذهب وهذا يعمي أن العمر المتوسط للذهب $^{198}A_4$ هو 100ساعة.

وبذلك يحسب العمر المتوسط (τ) **بالعلاقة:**

$$\tau = 1.44T_{\frac{1}{2}}$$

ووحدة النشاطية الإشعاعية Radioctivity هي الكوري (Ci) Curi وتكتب (C) وهي تساوي 3.7×10^{10} عدد مضمحل/ ثانية (no of disintegration/ sec) وهو يمثل فى الأصل نشاطية واحد جرام من عنصر الراديوم (Radium)، وطبعاً تعتبر وحدة الكوري وحدة كبيرة فى العلاج النووي ولذلك يستخدم الميللي يستخدم كوري (mc)، والميكروكوري (Mc).

بمعني أن:

$$1Ci = 10^3 mci = 10^6 Mci$$

$$1mCi = 10^{-3} Ci, 1MCi = 10^{-6} Ci; 1Ci = 10^{-9} Ci$$

$$1PCi = 10^{-11} Ci$$

(Pico=P, nano= n, micro = μ, milli = mحيث)

ولقد وافقت الهيئة الدولية للوحدات الإشعاعية التابعة للأتحاد الدولي للفيزياء البحتة والتطبيقية على أتخاذ وحدة عالمية فى هذا الخصوص أطلق عليها أسم الوحدة العالمية الإشعاعية International commission on radiological unit (I C R U).

بيكريل Becquerel (Bq) وهي المعروفة بالعدد المضمحل/ ثانية.

أي أن:

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$$

ونظراً لأن هذه الوحدة صغيرة فقد أستعيض عنها بمضاعفتها وهي أنسب فى هذا المجال:

مثل الكيلو بيكربل (kBq) والذى هو 10^3 عدد مضحل./ثانية.

وكذلك ميجا بيكريل (MBq) وهو 10^6 عدد مضمحل/ثانية.

وكذلك جيجا بيكريل (GBq) وهو 10^9 عدد مضمحل/ثانية.

المصادر الإشعاعية للطب النووي

Sources of radioactivity for nuclear medicine

أن الجرعات الإشعاعية Radioactive drug or radio pharmaceutical على أعلي مستوي فى النقاء من كونها جرعة ونشاط، وكل الجرعات الإشعاعية Radiopharmaceutical المستخدمة فى الطب النووي تعدها شركات خاصة وهي تستخدم كأي جرعات دوائية ولكن يبقي على المعالج أن يستعين بجدول معين ليعرف المدي التى تضمحل فيه هذه الجرعات منذ معايرتها.

ومثال ذلك اليود المشع I^{131} يجب أن يستخدم خلال فترة نصف حياته وهي ثمانيةأيام ويجب أن تراجع إمكانياتها أسبوعيا، كما يجب عدم الإسراف فى إستخدامها لأنها تعطي جرعات إشعاعية كبيرة نسبياً من إشعاعات بيتا إلى المريض، وإذا كان

المصدر يعُطى بيتا وجاما فإن الأنوية المشعة التى نصف فترة حياتها كبيرة تعطي كمية إشعاع أكبر من تلك التى فترة نصف حياتها قصيرة وكذلك تكون طاقة الإشعاعات المنبعثة.

ومن الأنوية الشائعة الاستعمال فى المجال الطبي نواة Tc^{99m} وهذه لها فترة حياة 6ساعات وتتناقص بمقدار أربعة فترات حياة أي 16مرة يوميا. **وتقدم الجرعات بالطريقة الآتية:**

النواة Tc^{99m} وهي ابنة النواة Mo^{99} التى فترة حياتها 2.5يوم. وإعداد 3جيجا بيكريل (3G Bq) أي (100 mci) منها يكون كافي لإعطاء كمية مفيدة من Tc^{99m}. حيث يمكن الحصول 3GBq من Tc^{99m} وذلك بتقطير Rinsed off الابنة فى اليوم الأول. وبإستمارا ذلك للنواة الأم (Mo^{99}) يمكن الحصول على 2GBq من Tc^{99m} فى اليوم الثاني وبعد يوم آخر نحصل على 1.5 GBq وهكذا لمدة أسبوع والنظام الذى يعطي الأنوية المشعة بهذه الطريقة يسمي (بقرة حلوب) (miliking – cow) أو مولد Generator ويقال أنه يستحلب Milkingيومياً أو مرتين يومياً للحصول على النواة المشعة الأبنة (daughter).

ويجب أن نلاحظ أن النشاطية الإشعاعية التى نحصل عليها من Tc^{99m} لا تزيد عن النشاطية الإشعاعية Mo^{99} . وقد تكون أقل إذا لم تُعصر أو تقطر كل الأنوية المتولدة (الابنة) أو أن المصدر يستحلب بشكل أسرع بعد آخر إستحلاب. أي أن معدل إستحلاب المصدر (Mo^{99}) يكون أكبر من معدل تقطير الابنة Tc^{99m}.

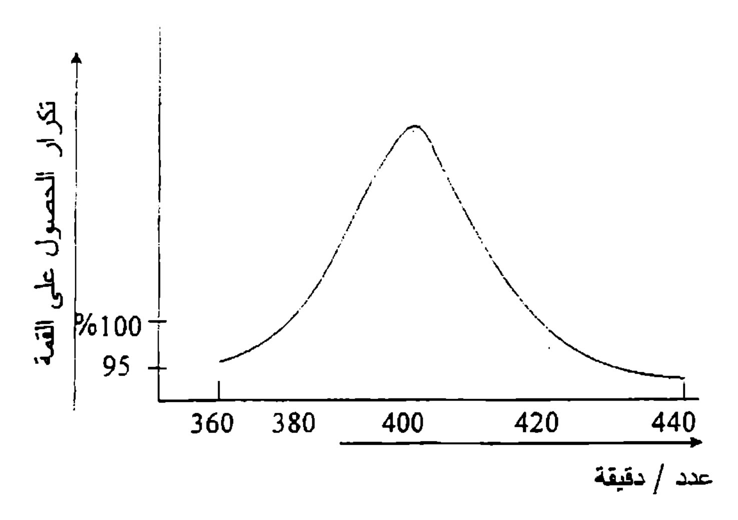
- وفى حالة اليود I^{123} فترة نصف حياته 13ساعة ولا تنبعث منه أشعة بينما يكون مناسب للدراسات فى الطب النووي ولكنه يتولد فى السيكلترون (Cyclotron) كما تولد مصادر آخر فترة حياتها أقل مثل $C^{11}, N^{13}, O^{15}, F^{32}, F^{18}$. كما أن السيكلترون يستخدم فى توليد نيوترونات لعلاج السرطان وقد وجد أن استخدام O^{15} ليس عملياً لأن فترة نصف الحياة له هي دقيقتين لاغير، إلا أن سرعة إنتشار الغازات تمكن من

أستخدامه بإفراغه فى رئة المريض ونظراً لنشاطية الأكسجين فإن الجسم يستفيد منــه فى ثوان معدودة بعد دخوله الرئة.

المفاهيــم الإحصائيــة فــى الطــب النــووي

Statistical aspects of nuclear medicine

من الطرق الشائعة فى الطب النووي هي عدد الإشــعاعات الجاميــة (δ) التــى تُستحس من مريض فى دقيقة واحدة، وللتأكد من ذلك فإن العملية تكرر عــدة مــرات وذلك بإفتراض أن حالة المريض ثابتة (لا حركة، الأجهــزة تعمــل بكفــاءة ومعــدل الاضمحلال للأذوية المشعة مهمل). فإنه من الطبيعي أن العدد الذى نحصل عليه فــى كل دقيقة من الممكن أن يختلف مع عدد الدقيقة السابقة أو اللاحقة أو يتفق مع أحدهم أو مع كليهما، فإذا كان عدد المرات التى يتم فيها العدد N مــن المــرات وأن تكــرار المعدود فى الدقائق المختلفة معروف فإننا نسنطيع إيجاد علاقة إحــصائية بــين قيمــة المعدود الجامي (δ)وتكرار الحصول عليه كما فى شكل (1-3). وفى هذا الشكل نجد أن القيمة المتوسطة للمعدود هي 400 وأن ثلثي القيم يقع بين 380، 420 وأن هــاتين القيمتين ليست عشوائيتين وإنما مرتبطان بالقيمة المتوسطة على نحــو $400 \pm \sqrt{400}$ ومنها يتبين أن القيمة $\sqrt{400}$ هي الانحراف المعياري (Standard deviation) عن القيمة المتوسطة (σ) وهذا يعني أن الانحراف المعياري الآن هو $\sigma = 20$ أو 1σ أي الانحراف المعياري فى ثلثي القراءات كان 20 أو 1σ من القيمة المتوســطة وهــذا يعني ن حوالي 95% من النتائج سوف يكون بحيث الانحراف المعياري يساوي 40 أو 2σ. وهكذا.



شكل (1-3)

وقد لوحظ أنه بزيادة الوقت الذى يتم فى العد يقل الخطأ فى العد. ونظـرا لأنـه معروف أن العدد الذى يتم وقت تشغيل المصدر هو مقدار العد الكلي Gross count) ((Ng)، فإذا ما تمت عملية العد، عندما يكون المصدر موقوفاً فإن المعـدود سـوف يكون صفر.

إلا أننا سوف نحصل على قيمة هي فى فى الحقيقة أثار ما يحيط بالمصدر مـن أشعة كونية وانبعاث إشعاعات من الأجهزة الكهربية no0ise والدوائر الكهربية لـذلك سوف نسميها أثر المعدود من الخلفية (N_b) Contribution of the background.

فإذا علمنا قيمة Ng، Nb فى دقيقة فإن العدد المحصل أو الكلي هو (Net).

$$N_{net} = N_g - N_b$$

ولانحراف المعياري المحصل σ_{net} هو:

$$\sigma_{net} = \sqrt{N_g + N_b}$$

فإذا فرض أن N_g تمت فى وقت t_g دقيقة، N_b تمت فى t_d دقيقة فإن معدل عـــدد النمو Gross count rate (Ng/tg) ومعدل عـــدد الخلفيـــة $\left(\frac{N_b}{t_b}\right)$ background count rate.

ويكون الانحراف المعياري لمعدل عدد النمو (standard deviation of gross count rate) هو σ_g.

$$\sigma_g = \sqrt{N_g / t_g}$$

والانحـــراف المعيـــاري لمعـــدل عـــدد الخلفيـــة (Standard deviation of background rate) هو σ_b.

$$\sigma_b = \sqrt{N_b / t_b}$$

ومعدل العدد المحصل:

$$\frac{N_{net}}{\min} = \frac{N_g}{t_g} - \frac{N_b}{t_b}$$

$$\text{(فى دقيقة)}\ N_{net} = \frac{N_g}{t_g} - \frac{N_b}{t_b}$$

والانحراف المعياري لمعدل العدد المحصل:

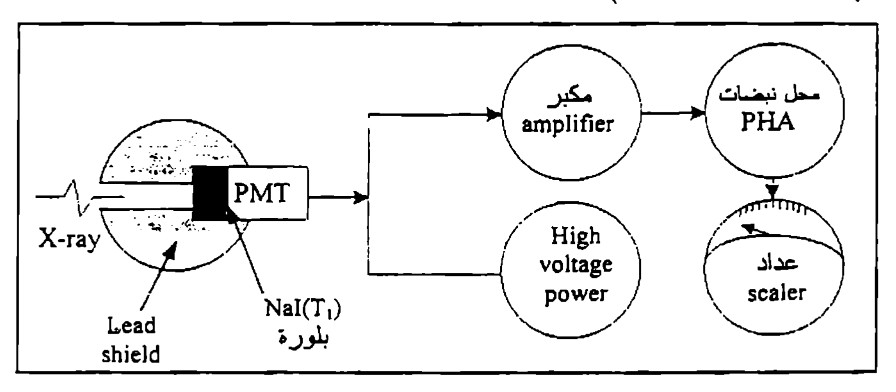
$$\sigma_{net} = \sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_b^2}$$

أجهـزة الطـب النـووي nuclear medicine instruments

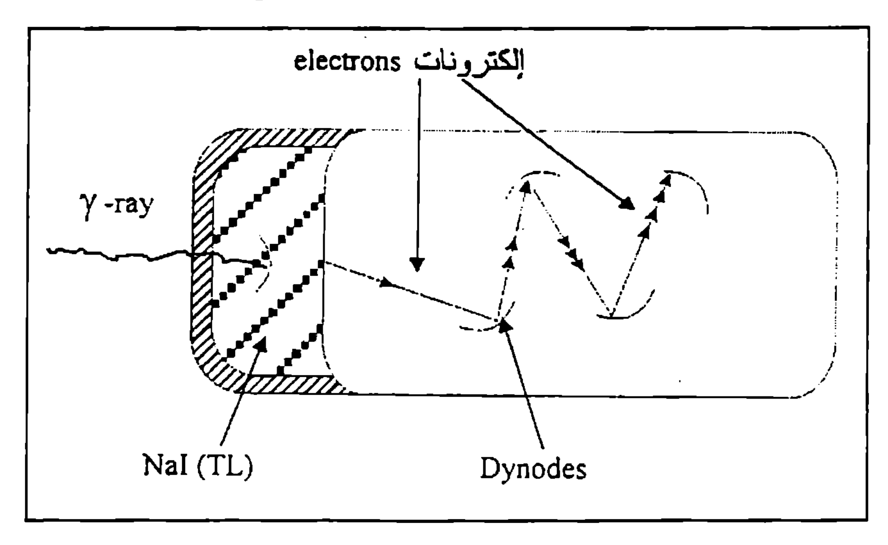
حل عداد جنجر Geiger- Mueller محـــل بلـــورة كبريتـــات الزنـــك (Zinc sulfide) فى إكتشاف المواد المشعة، وفكرته بنيت على أنه عند دخول إشـــعاع بيتـــا أنيوبة جيجر (GM) فإنها تأين الغاز الموجود بالأنبوبة وتؤدي إلى عملية تفريغ ينـــتج

عنها نبضات كهربية يمكن سماعها أو عدها كهربياً، إلا أن (GM) لا يفرق بين كمية الإشعاع حيث أن كمية التأين ثابتة. ويستعمل فقط للتحذير. أي أنه جهاز أمان من الإشعاع.

واستخدمت أنبوبة تضاعف الوميض Photomultiplier tube (PMT) التي تستطيع إكتشاف ومضة ضوئية مهما كانت ضعيفة وتقدر كميتها (Estimate the amount) وهي تتكون من بلورة يوديد الصوديوم المطعم بالثاليوم Thallium NaI (TL) وهي توضع ملاصقة لمهبط ضوئي (Photo cathode) ومعزولة عن الخارج برقائق الرصاص من جميع الجهات ما عدا فتحة صغيرة (window) لدخول أشعة جاما طاقتها 140kev تمتص تماماً فى بلورة NaI (TL) نظراً لحساسيتها، الأمر الذى يجعل البلورة تعطي ومضات شدتها تتناسب مع طاقة أشعة جاما، هذه الومضات تصطدم بالمهبط الضوئي الملاصق للبلورة فتنبعث منه إلكترونات لها طاقة تكتسبها من فوتونات الوميض ليلتقطها أول مصعد حيث تصطدم به وتحرر منه إلكترونات ثانوية ويتجه الجميع إلى مصعد آخر جهده الموجب أعلي، وتتكرر العملية فى عدة مصاعد (dynodes) حيث تكبر النبضات الكهربية ويمكن عدها مباشرة بعداد خاص، ولكنه من المعتاد عد نبضات معينة أي لها خواص معينة ويستخدم لذلك محلل إرتفاع النبضات pulse light analyzer (PHA). وفى العادة تحدد حزمة الارتفاعات المطلوبة بأخذ أعلي قيمة مؤثرة لإرتفاع النبضة وأقل قيمة مؤثرة لإرتفاع النبضة، ولا يسمح للباقي من النبضات، أي لا يسمح للإرتفاعات الأعلي من المطلوب ولا يسمح أيضاً للارتفاعات الأقل من المطلوب وتسمي هذه الحزمة بالشباك فى محلل أرتفاع النبضات The window of pulse hight analyzer وكل النبضات التى تنطبق عليها شروط الشباك تدخل فى الاعتبار وتُعد كما فى شكل (3-2). أ، ب.



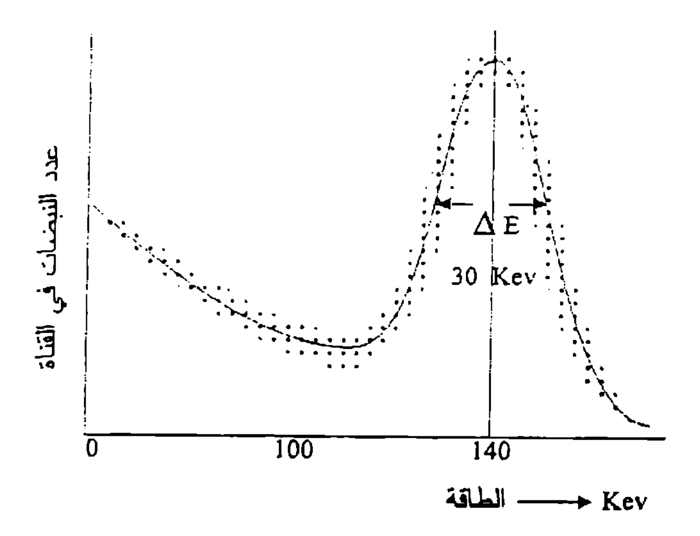
شكل(2-3، أ) توصيل انبوبة تضاعف النبضات مع دائرة العد.



شكل (2-3، ب) انبوبة تضاعف الوميض (PMT).

إذا أريد عمل إحصائية لتوزيع ارتفاع النبضات (Pulse high distribution of all pulses) فإننا نستبدل محلل ارتفاع النبضات (PHA) بمحلل عديد القنوات (MCA) (multichannal analyzer) الذى يصنف النبضات حسب الحجم إلى 256 مجموعة أو 512 مجموعة. فإذا ما تعرضت بلورة NaI (TL) إلى مصدر إشعاع (δ) وحيد الطاقة (mono energetic) مثل 140kev (Tc^{99m}).

فإن توزيع ارتفاع النبضات الناتج من (MCA) يكون كما فى شكل (3-3).



شكل (3-3)

حيث تتركز الطاقة حول القمة 140 كيلو إلكترون فولت والنبضات ذات الطاقات القليلة تكون نتسجة أثر كمبتون (Compton inter effect) حيث تستطار بعض الفتونات من البلورة وتهرب، كما أن عدم تجانس البلورة NaI (TL) وعدم تجانس المهبط الضوئي يؤديان إلى اتساع عرض القمة الكلية حول 140kev. ونظراً لضعف قوة فصل (PMT) فإن التفرقة بين مصدرين طاقاتهما متقاربه، غير ممكن وتحسب قوة الفصل بمعلومية عرض القمة عند نصف الارتفاع مقسوم على طاقة الفتونات التى انتجت القمة. أي أنه من شكل (3-3).

فإن:

$$\text{Resolution} = \Delta E / E_{ph} = \frac{30}{140} = 21\%$$

وهناك كواشف من المواد الصلبة الشبه موصلة، وهي تعمل كما لو كانت غرفة تأين صلبة (Solid ionization chamber) وهي لا تسمح بمرور التيار الكهربي إلا عند التأين بفعل الإشعاع (δ) وتحفظ عند درجات حرارة منخفضة لتفادي التيار الحراري وعند مرور أشعة (δ)بها فإنها تُمتص فيها وتعطي عدداً كبيراً من أزواج الأيونات (ion pairs) ويكون ذلك فى حدود زوج من الأيونات لكل 3ev من الطاقة

الممتصة، وبذلك عندما تكون طاقة أشعة جاما 140 (Kev) من Tc^{99m} وأمتصت فإننا نحصل على 48.000 زوج من الأيونات، إلا أن حجم النبضات بإستخدام الكاشف الصلب يكون صغير رغم أن قوة فصلة عالية وتلك ميزة أساسية له.

ومن الطبيعي أن يحتاج المعالجون كواشف تستطيع الكشف عن أشعة جاما في جزء صغير من الجسم، لذلك صممت أطراف معزولة عزلاً إشعاعياً (رصاص) إلا من فتحة أو فتحات صغيرة لتدخل منها الإشعاعات تسمي المجمعات (Collimators) ومنها المجمعات المسطحة (flat filed collimator) ويستخدم في أكتشاف وعد أشعة جاما من الأجزاء ذات الحجم الكبير نسبياً في الجسم مثل الكلي والغدة الدرقية (Kidney and or Thyroid) ومنها ما يسمي بالمجمعات المركزة (focused collimators) وفتحاتها دقيقة جداً وتستخدم عادة في الطب النووي التصويري (Nuclear medicine imaging) لنفاذها إلى مواضع ذات أحجام صغيرة وقد يُصمم منها أطراف لإلتقاط أشعة جاما ذات طاقة معينة وكأنها تعمل عمل شباك (window).

ومن الاختبارات المعروفة هو إختبار أداء وظيفة الغدة الدرقية (Thyroid) والذى يستخدم فيه (PMT)، وهذا الغدة تستخدم اليود لإنتاج الهرمونات التى تتحكم فى معدل البناء (metabolic rate) فى الجسم والشخص الذى غذته قليلة النشاط under active thyroid (Hypothyroid) يُعني أنها تحتاج إلى يود أقل من العادي والشخص الذى غذته تتمتع بنشاط عال normal thyroid function (euthyroid) بمعني أنها تحتاج إلى يود أكثر من Overactive thyroid (hyperthyroid) العادي.

وفى حالة أختبار الـ 24ساعة فإن كمية صغيرة من I^{131} فى حدود 300kBq بشكل سائل أو أقراص (عبوءات) (capsule) تعطي عن طريق الفم، ثم نحسب كمية اليود لمدة 24ساعة فى الغدة الدرقية كل دقيقة، كما تجري التجربة فى نفس الوقت على كمية مماثلة من نفس اليود لإستخدامها للمقارنة، ونظراً لأن I^{131} يضمحل فى

المريض ومن اليود العياري بنفس المعدل فإن المقارنة تكون كافية ولا داعـي لأيـة تصحيح فيما عدا تصحيح الخلفية.

والنسبة بين ناتج العدد من الغدة إلى ناتج العدد من اليود العياري مضروباً في 100 هي نسبة أخذ اليود فى 24ساعة. والنسبة للغدة العادية هـي (10% - 40%) بنسبة متوسطة حوالي 20%، وإذا كانت نسبة ما يحتاجه المريض أكبر من 40%، فإن الغدة عالية النشاط. أما إذا كانت إحتياج المريض أقل من 10% فإن غدته قليلة النشاط ويعزي إلى حصول المريض على نسبة من اليود المستقر حديثا.

ويفضل أن يتم هذا الاختبار دون إعطاء المريض I^{131} (in viva) ولكنه يتم على عينة من الدم فى أنبوبة إختبار (in virto)، وهذه طريقة آمنة وبعيدة عـن اسـتخدام الإشعاع.

يمكن التعرف على وظائف الكلي بإستخدام (PMT) حيث يحقن المريض بـاليود I^{131}- وعند وصول الدم إلى الكلي وتبدأ الكلي فى استخلاصه مـن الـدم وتـسجيل النشاطية الإشعاعية لكل كلي بإستخدام (PMT) بإسـتخدام المجمعـات المـسطحة أو الواسعة ثم تصل لنبضات الناتجة من (PMT) إلى ما يسمي بمقياس المعـدل (rate meter) حيث يتم تسجيل النشاطية الإشعاعية الكلي مع الزمن، ومقياس المعدل هـذا يأخذ متوسط النبضات فى زمن صغير وتستخلص النتائج بالعدد/ دقيقة أو العدد/ثانية أو قد تسجل بشكل دائم على شريط العدد مع الزمن ويسمي الرينـوجرام (Renogram)، ويعطي الانحراف المعياري فى المئة $\sigma\%$ Percent standard deviation:

$$\sigma\% = \frac{\sqrt{2N\tau}}{2N\tau} \times 100$$

حيث: n معدل المعدود، τ ثابت الزمن (Time- constant) ويطلق علـى التجربـة السابقة إسم تجربة حية (in vivo).

ولإجراء هذه التجربة على عينة بدلاً من الكلي أي تُعتبر التجربة غير حية (in vitro) فإننا نستخدم أنبوبة تضاعف النبضات مزودة يجب أو بئر (well) وذلك لوضع العينة فيه بحيث تكون ملاصقة لبلورة (TL) NaI.

ويمكن الحصول على العينة من المريض بحقنة فى شرايين أحد الذراعين باليود المشع I^{131} بجرعة 200kBq أو (5Mci)، وبعد خمسة عشرة دقيقة تسحب عينة من الذراع الآخر، ثم يعد بإستخدام (PMT)، وتقارن مع عينة عيارية.

وفى بعض الحالات يستخدم سائل ككاشف بدلاً من (TL) NaI حيث تخلط مع العينة فى (PMT) ثم يحسب ويعد ومن ميزات هذه الطريقة أنها تسجل أضعف النبضات وتحسبها (مثل نبضات أشعة بيتا الضعيفة) والتي يصعب على الكواشف الأحري الإحساس بها، ونظراً لضعف النبضات فإن الكاشف والعينة تُبرد حتي نتفادي أثر ضوضاء الخلفية من المصدار الحرارية على (PMT)، ويستخدم هذا الكشاف فتعين النشاطية الإشعاعية فى بول العمال الذين يعملون فى مجال الترتيوم (tritium).

أجهزة التصوير فى الطب النووي

Nuclear medicine imaging devices

عند حساب النشاطية الإشعاعية لأي عضو من أعضاء الجسم للحصول على معلومات ذات قيمة، فإنه من المفيد أن نعرف كيفية توزع الإشعاعات فى هذا العضو.

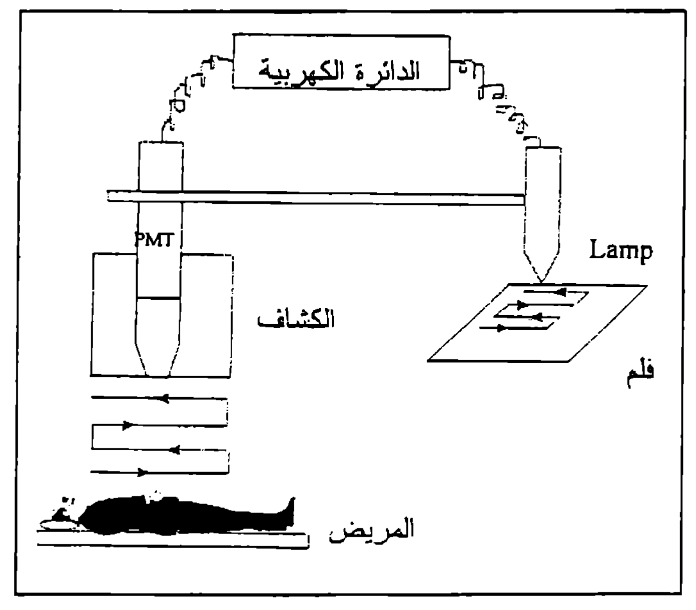
وتصوير العضو (imaging) يعطي صورة لتوزيع النشاطية الإشعاعية، وهناك جهازين للتصوير فى الطب النووي **هما:**

1. الماسح الغير خطي Rectilinear scanner.

2. مصورة الجاما Gamma camera.

أولا: الماسح اللاخطي Rectilinear scanner

وفيه تتحرك بلورة الكاشف (TL) NaI بشكل تذبذبي لترسم خطوطاً زواياها قائمة على الجزء تحت الاختبار وتعطي تسجيل دائم لمعدل العد (count rate) أو مخطط لتوزيع الإشعاع فى الجزء المعني من الجسم وقد تطورت أبعاد بلورة (NaI (TL) حتي وصلت إلى قطر قدره 12.9سم وطول مقداره 6سم الأمر الذى زاد الصورة وضوحاً كما أن زمن التصوير قل أنظر الشكل (3-4) الذى يوضح الماسح غير الخطي.



شكل (3-4)

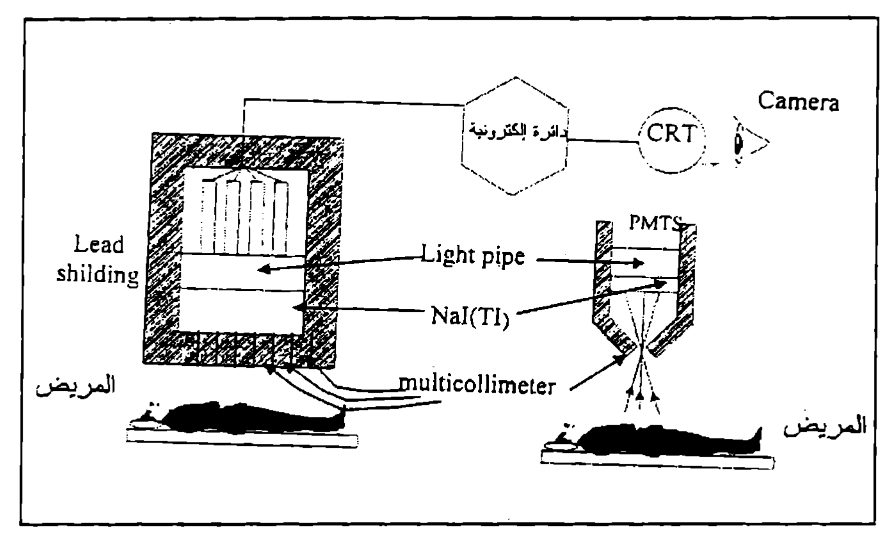
ونحصل على صورتين، لتوزيع الإشعاع إحداهما على شاشة (CRO)، والثانية نحصل عليها من حركة مصباح على لوح حساس ضوئياً وشدة درجة السواد تزداد كلما كانت إضاءة المصباح أشد حيث تكون أشعة جاما أكثر طاقة ومن الممكن تسجيل النتائج على شرائط التسجيل ويمكن تحليلها فيما بعد ونحصل منها على صور كمية (Quantitative image)، ويمكن أن يتم ذلك للجسم بأكمله فى عملية مسح شامل،

ويلزم عمل المسح على كلي جانبي المريض، وبعض الكواشف لهـا طـرفين لمسح الجانبين فى قوت واحد، وبذلك يقل وقت التصوير والمطلوب فيه مـن المـريض أن يكون ساكن أو قريب من ذلك وخصوصاً إذا كان المسح على منطقة الكبد التى تتحرك إلى أعلي وإلى أسفل بسعة قدرها 2سم فى عملية التنفس العادية.

ثانياً: جهاز التصوير الجامي (Gamma Camera)

يحتوي هذه الجهاز على بلورة كاشفة (NaI (TL سمكها 1سم وقطرها يصل إلى 50سم ويمكننا رؤية التصوير من خلال أنبوبة مضاءة (Lighted- pipe) بعدد مـن مضاعف لنبضات (PMT/s) يصل إلى (19-37) نبضة، فعندما تتفاعل أشعة جامـا فى أي مكان من البلورة فإن ذلك يحدث نبضة قوية فـي أقـرب (PMT) ونبـضات ضعيفة فى (PMTs) البعيدة، هذه النبضات تعالج كهربياً (إلكترونياً) لتعيين الإحداثيات للكاشف (x, y)، وبالتالي تظهر نقطة بيضاء على شاشة (CRT) لتعيـين الموضـع المقابل لـ (x,y) على الشاشة (CRT). والتى يمكن تصويرها بمصورة مقلبلة للشاشة وتصوير مصورة الجاما بطريقة المسح إعداد هائلة من هذه النقـاط المـضيئة (مـثلاً 400,000) والتى تكون كافية لإعطاء صورة على النـشاطية الإشـعاعية للجـزء أو للجسم تحت الاختيار.

وغالباً ما يستعان بحاسب متصل بمصورة الجاما ليعطي تحليلاً للنتائج. ومصورة الجاما لها قوة فصل عالية (resolution power) بالمقارنة بالماسح الغيـر خطـي، حيث تستطيع أن تفرق بين مصدري جاما المسافة بينهما 5مم عندما يضبطان قريبـاً من فتحة المجمع (Collimator)، كما أن وقت التصوير أيضاً يعتبـر قليـل وبـذلك نحصل منها على معلومات ديناميكية كما أن ذلك يمكّن من إستخدام مصادر إشـعاعية فترة نصف حياتها قصير فى حدود 2دقيقة أو أقل. والـشكل (5-3) يوضـح تجهيـز مصورة جاما.



شكل (3-5)

الأسس الفيزيائية لطرق التصوير في الطب النووي

Physical principles of nuclear medicine imaging procedures

يمتاز التصوير فى الطب النووي لأعضاء الجسم بإستخدام مصورة الجاما عن الماسح الغير خطي بقصر الزمن والحصول على معلومات ديناميكية وكبر قوة الفصل للمصادر المتقاربة إلا أن الصور الناتجة من الآلتين متشابهة وكلاهما يعطي معلومات عن الأورام لا تستطيع توضيحها الأشعة السينية نظراً لأن معدل إمتصاصها فى الأنسجة العادية والأنسجة التى بها الأورام واحد.

والتصوير الإشعاعي يوضح الأورام مهما كانت دقيقة حيث يوضح الحويصات الصغيرة (nodules) والكتل والتوءات (Iumps) والتى من المحتمل أ، تكون سرطانية (Cancerous) والكتل والتوءات المتحوصلة (كامنة) (Colded) ويكون لها ميل لتتحول إلى أورام سرطانية بشكل أكبر من التنوءات فى الأنسجة التى تؤدي وظائفها مثل نسيج الغدة الدرقية (Thyroid tissue) والتى يمكن أن تعطي جرعات إشعاعية (takes up radioactivity).

ولإيضاح الفرق بين نسيج الغدة الدرقية العادي والنسيج الذى به حويصلات كامنة فإنه من الممكن إعطاء جرعة I^{131} فى حدود 4MBq (100mci ~) عن طريق الفم يتم التصوير فى اليوم التالي، ومن الممكن عمل نفس الشئ بإستخدام Tc^{99m} الذى تمتصه نفس الأنسجة التى تمتص اليود وتكون الجرعة فى حدود (4mci~) 150MBq ويفضل Tc^{99m} لأنه يعطي جرعة إشعاعية قليلة للمريض، وأن كان I^{123} يعتبر من العناصر الممتازة فى تصوير الغدة الدرقية حيث أنه يعطي جسيمات بيتا وفترة نصف حياته 13ساعة. وجرعته المستخدمة فى حدود20MBq. وفى جميع الحالات يتم تصوير الغدة قبل وبعد إعطاء الجرعة، ويكون الفرق هو ملاحظة الحالات يتم تصوير الغدة قبل وبعد إعطاء الجرعة، ويكون الفرق هو ملاحظة تركيز المواد المشعة على المناطق التى بها الحويصلات الورمية الكامنة (Reduce of radioactivity increase over nodules) وفى الكبد ينتشر السرطان (cancer metastasizes) ويمكن أن يكتشف بالمسح الإشعاعي حيث تُصفي أنسجة الكبد العادي الجسيمات المشعة الدقيقة من الدم، بينما الأجزاء من الكبد التى بها ورم لا تفعل ذلك وتظهر فى الصورة بشكل مظلُم (reduced radioactive areas)، ويستخدم لذلك (~ 5mci) 200MBq من Tc^{99m} المعلق على الكبريت الذى قطر جسيماته فى 0.5µm وتحقن فى الوريد ثم يتم التصوير بعد عشرة دقائق.

وأعراض الورم الخبيث فى المخ تتشابه مع أعراض أخري لحلالت أقل خطورة، إلا أن آلات الطب النووي قد تطورت لتتعرف على الأورام فى المخ. وقد وجد أنه عند حقن المادة المشعة فى الدم فإن مناطق الورم فى المخ تمتصها بشكل أكبر من امتصاص الأنسجة العادية فى المخ لها، ويستخدم فى ذلك جرعة فى حدود MBq500 من Tc^{99m} وبعد ساعتين يتم تصوير الرأس من الأمام والخلف واليمين واليسار بإستخدام آلة التصوير الجامية (Gamma camera) لحسن التشخيص.

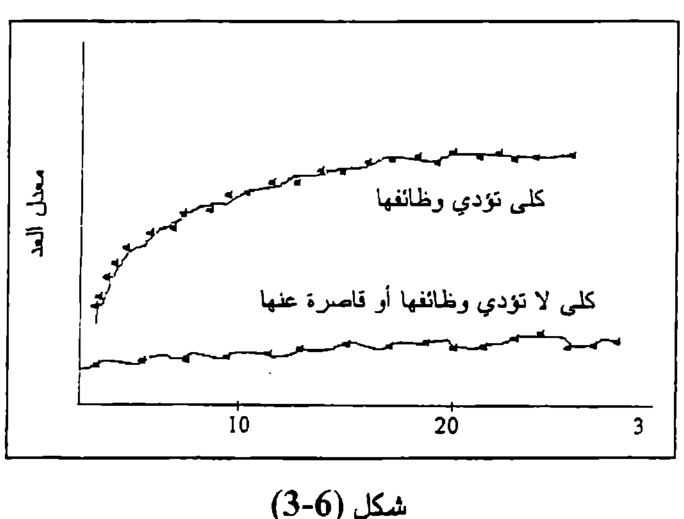
ويفيد تصوير النشاطية الإشعاعية فى إكتشاف سرطان العظام أكثر من صور الأشعة السينية، حيث أن الأجزاء التى يحُطمها السرطان من العظام تحاول بناء نفسها بأن تأخذ كم أكبر من العناصر اللازمة لذلك وبشكل أكبر من العظام العادية، ولإيضاح

ذلك يُحقن الجسم بمادة Tc^{99m} فى مركباته الفوسفاتية بجرعات فى حـــدود 500MBq ويتم التصوير بعد 3ساعات.

والصورة توضح أن المادة المشعة تتركز فى مناطق الأورام والمناطق المتناميــة ويتم التصوير بإستخدام مصورة جاما فى الماسح اللاخطي.

وقد يستخدم لذلك الفلورين (Flourine) المشع F^{18} حيث يـــستقر فـــى بلـــورات العظام فى مواضع أيونات $o\overline{H}$ ونظراً لأن فترة نصف حياته 110دقيقة فإنه يولد فى موضع العلاج.

والتصوير النووى يفيد أيضاً فى اختبار وظائف الكلي وخصوصاً عنـــد عمليـــات الزرع حيث يحقن قدر من حامض البيوريك (Hippuric acid) المشع فى الدم والذى تستخلصه الكلي بسرعة، وتراقب الكلي بإستخدام مصورة الجاما كما يمكن الحـــصول على رينوجرام (renogram) بتوصيل مصورّة الجاما بالحاسب (computer) حيـــث تظهر قائمة كما أن معدل العد يكون قليل فى الريتوجرام للكلي التى لا تؤدي وظائفهـــا شكل (3-6). أو التى بها قصور شديد فيها.



شكل (3-6)

وفى حالة الإنسدادات الرئوية (Pulmonary embolism) من جراء تجلط الـــدم فإن 100MBq من Tc^{99m} الزلالي يحقن فى الوريد حيث يصل القلب ثم إلى الرئتين.

ونظراً لأن قطع الجلطات كبيرة نسبياً فإنها لا تستطيع المرور عبر الشعيرات الدموية وتسد بعضها ولكنها تتكسر فى وقت قليل، ويتم التصوير الإشعاعي بمصورة الجاما أو الماسح اللاخطي بعد الحقن مباشرة حيث أن المناطق التى بها تجلطات أقل إضاءة بسبب عدم التوارد إليها.

أما دورة الهواء فى الرئتين فيمكن تتبعها بإستخدام غاز مشع مثل xenon Xe^{133} والذى فترة نصف حياته 5.3يوم، حيث أن توزيع النشاطية الإشعاعية وزمن تواجدها يعطي معلومات هامة بالنسبة للتشخيص.

أما القلب فهو أصعب الأعضاء فى الجسم فى الدراسة بآليات الطب النووي نظراً لدقاته الدائمة التى تقلل التفاصيل المفترض رؤيتها فى الصورة.

العلاج بالإشعاعات النووية Therapy with radioactivity

الإشعاع المؤين مفيد جداً فى علاج السرطان، والمواد الإشعاعية السائلة التى تخدم هذا الغرض تؤخذ بالفم، حيث يستخدم I^{131} بالجرعات 150-400MBq لعلاج الغدة الدرقية التى زاد نشاطها (overactive thyroids) وقد تزيد الجرعات إلى 2GBq لعلاج بعض سرطان الغدة الدرقية، ويكون تأثير العلاج بالإشعاع كبير نظراً لإمتصاص جسيمات بيتا فى مكان محدد.

والفسفور المشع P^{32} يشع أشعة بيتا فقط ويستخدم فى علاج الحمرة (Polycythemia) حيث تزداد فيه عدد كرات الدم الحمراء بشكل أكبر من الطبيعي. وهذا الإشعاع يعمل على تقليلها.

الجرعـات الإشعـاعيـة فـى الطـب النـووي

Radiation Doses in nuclear medicine

نظراً لقابلية النظائر المشعة فى التركيز فى عضو مُعين فإن توزيعها فى الجسم يكون غير متجانس، والعضو الذى تترسب فيه أكبر جرعة يسمي العضو الحرج (Critical organ) لطريقة ما.

والجرعة المحددة لعضو معُين فى الجسم تعتمد على الخواص الفيزيائية للمواد المشعة (Radionuclide) من حيث الإشعاعات الخارجة منها وطاقة إشعاعاتها. وزمن بقائها فى العضو المعني. وزمن بقائها فى العضو تحت الاختبار أو فترة نصف الحياة المؤثرة (Effective half life time) $\left(T_{\frac{1}{2}}eff\right)$، تعتمد على كلٍ من فترة نصف الحياة الحيوية $\left(T_{\frac{1}{2}}phy\right)$ (Biological half- life time) وهي الفترة اللازمة لتصل قيمة عدد الذرات الموجودة فى العضو إلى نصف قيمتها وفترة نصف الحياة الطبيعية للعنصر $\left(T_{\frac{1}{2}}phy\right)$ **وتعطي بالمعادلة الآتية:**

$$T_{\frac{1}{2}}eff = \frac{\left(T_{\frac{1}{2}}bio\right)\left(T_{\frac{1}{2}}phy\right)}{T_{\frac{1}{2}}bio + T_{\frac{1}{2}}phy}$$

ملاحظة: فى الغالب إذا كانت فترة نصف الحياة الحيوية أو فترة نصف الحياة الطبيعية صغيرة عن الآخري فإن فترة نصف الحياة المؤثرة تكون مساوية أو قريبة من القيمة الصغيرة لأيهما.

الباب الرابع



الوقاية من الإشعاع

Radiation protection

الباب الرابع

الوقاية من الإشعاع

Radiation protection

مقدمة:

يسقط الإشعاع على سطح الأرض كما ينتشر فى الكون جميعه منذ الأزل وبذا قدر لجميع المخلوقات أن تعيش فى بيئة من الإشعاع، والإشعاع الطبيعي أو إشعاع الخلفية (background radiation) يأتي من مصادر متعددة، منها ما يقرب من 22% يخرج من أجسامنا نحن بني البشر (مثل البوتاسيوم المشع) ونسبة أخري ليست قليلة تخرج علينا من التربة التى نعيش فوقها ومشتقاتها مثل المباني، ومودا البناء وهذه تعتمد على الموقع الجغرافي على سطح الأرض حيث يزيد عن معدله المتوسط فى مواقع مثل البرازيل والهند، كما يصل إلى الأرض نسبة عالية من الأشعة الكونية (Cosmic rays) القادمة من الفضاء الخارجي، وطبقات الجو العليا تحمي الأرض من نسبة عالية من هذه الأشعة بالإضافة إلى الأشعة فوق البنفسجية.

والهواء الذى تتنفسه مصدرا من مصادر الإشعاع حيث يحتوي على غاز الرادون (Radon gas) وهو أحد أبناء عائلة الراديوم المشع وفترة نصف حياته 3.8يوم وهو يدخل الرئة مع هواء الشهيق ويلتصق بالغشاء المبطن للحويصلات الهوائية وبذلك تكون الرئتين أكثر تعرضا للإشعاع من باقي أعضاء الجسم حيث يصل ما يصيب الرئتين من الإشعاع تسعة أمثال باقي الجسم، وتعتمد نسبة غاز الرادون فى المباني على نوع المباني ففي المساكن الخشبية تُمثل نصف ما فى المساكن الطبيعية وهي

أيضاً ثلث ما فى المباني الخرسانية، وأوراق التبغ أثناء تجفيفها تلتصق بهـا جزيئـات غاز الرادون وبذلك تكون من مسببات السرطان عند السادة المـدخنين وتبلـغ نـسبة الإصابة بين المدخنين خمسة أمثال غير المدخنين. والتعرض للإشعاع طبياً يأتي مـن استخدام الأشعة السينية والمواد المشعة فى التشخيص والعلاج.

والوقاية من العلاج يكمن فى كلمة واحدة (التعليم) والعاملون فى هذا المجـال لا يأبهون بها ولا يتصورن أنها ضرر عليهم ويتعاملون معها كما يتعامـل العامـة مـع حوادث السيارات، وقد تُحدد جرعة الإشعاع الآمنة إلا أن التعامل مع الإشعاع يكـون بحذر شديد كما أننا نفرط فى تحذير المدخنين بالتوجيه بإن سيجارة واحدة أو حتي نفس واحد يكون مميت.

والقول الفصل (ما كان كثيره مُسكر فقليله حرام)، وعلينا أن نوازن بـين الفائـد والخطورة ففائدة التشخيص بالأشعة السينية بالجرعة الآمنة أكثر فائدة من خطورتهـ القيلية، ولذلك فإنه لا يوجد خط واحد واضح لحد الخطـر مـن الجرعـة القـصوي المسموحة للتدخين (maximum permissible smoke (MPS)) وقد يكون حد هذ الجرعة أو الجرعة القصوي المـسموح بهـا (MPD) Maximum permissible dose هو ظهور أعراض سرطان الرئة آخذين فى الاعتبار إحصاءات كثيرة أخـذت عل شريحة كبيرة من المدخنين.

الأثر البيولوجي للإشعاع المؤين

Biological effect of ionizing radiation

للأشعة السينية والمواد المشعة الآخري آثار جسيمة بيولوجية، فقد لاحظ الكثيرون أن المساحات من الجلد التى تتعرض للأشعة السينية يحمر لونها وإذا زادات الجرعـ فإنها تتقرح وقد تؤدي زيادة الجرعة التراكمية إلى ظهور أعراض سرطان الجلد مـ مرور الزمن، وقد يمتد ذلك إلى ما تحت الجلد كما يحدث فى حالة التعرض المباشـر لمودا مشعة لفترات زمنية.

والآثار البيلوجية للإشعاع نوعان إثنان: جسدي (Somatic) ووراثي (genetic) والآثار الجسدية تؤثر على الأفراد مباشرة مثل فقدان الشعر، وإحمرار الجلد وتقرحه، وهذه تعتمد على كمية الإشعاع والجزء المشعع من الجسم وعمر المريض حيث يكون الأثر الجسدي كبيرا كلما كان المريض صغيرا وأخطر الأيام التى يحدث فيها الأثر الجسدي هي أيام ما قبل الولادة حيث يؤدي أثر الإشعاع إلى تشوه الأجنة فى بعض فترات الحمل.

والآثار الوراثية (Genetic effects) تكون على الخلايا الوراثية التى تؤثر فى أجيال قادمة وذلك عندما يسقط الإشعاع فى عملية التشعيع على الخلايا الوراثية ولذلك ينصح بإستخدام أقنعة واقية للغدة التناسلية عند إجراء التشعيع كلما أمكن، كما أن مفهوم الجرعة الوراثية الأنجابية يكون ضيق جدا (GS.D) Genetically significant dose وهذه الجرعة توضح متي يكون الشخص أبا لأجيال تالية، فمثلا السيدات فوق 50عاما فرصتهم فى الإنجاب قليلة وبالتالي فإن مساهمتهم فى (GSD) للزيادة السكانية قليلة وعلى العكس من ذلك فى حالة الأطفال وصغار السن.

وأثناء العلاج بالإشعاع يكون ن هناك آثار جانبية معظمها يكون جسدي منها: إحمرار الجلد (erythema or Redding of skin)، تطاير الشعر، التقرح (ulceration)، تليف الرئة (stiffening of lungs)، تخرم الأنسجة (fistulas) Formation of holes in tissue، نقصان كرات الدم البيضاء (leakopenia) وحدوث قتامة فى عدسة العين (Cataracts). وأسوا ما يمكن أن يحدث من الآثار الجسدية البيولوجية هو وضع بدور السرطان (Carcinogensis) فى الجسم من أثر الإشعاع، وقد وجد أن أنواع كثيرة من الرسطان تحدث وليس فقط سرطان الجلد، فعلاج الغدة الدرقية الغير آمن يصيبها بالسرطان (Thyroid) والإشعاع الموجه إلى مواد النمو فى الدم (Bone morrow or Blood forming organ) يسبب سرطان الدم (leukemia)، وعلاج الأطفال بالأشعة السينية اللذين تضخمت عندهم الغدة الصماء وجد أن بعضهم عند بلوغهم سن الشباب كان مصاباً بسرطان الغدة الدرقية

المجاورة للغدة الصماء فى أسفل الرقبة، وقد وجد أن 117 حالة سرطان دم من أثـــار الانفجار النووي فى هيروشيما وناجازاكي، وسرطان الثدي أيضاً يسببه الإشعاع.

وحـدات الأمـان مـن الإشعـاع

Radiation protection unit and limits

وحدة الرنتجين Roentgen هي وحدة قياس الإشعاع السيني والجامي ووحـدتي البكريل (Bq) Becquerel، الكوري (Ci) curi وحدات قياس النشاطية الإشـعاعية، ووحدة الجرعة الممتصة جراي (Gy) Gray، الراد Rad، وارتباط وحدة الراد بوحدة الريم Rem هي وحدات تستخدم فى الوقاية من الإشعاع وعددياً الراد يساوي رم.

والرم هي وحدة الجرعة الكمية المكافئة (Quantity dose equivalent)(DE) وتعرف على أنها الوحدة بالراد مضروبة فى معامـل الكفـاءة (Quality Factor) (QF).

أي أن:

$$DE = Rads \times QF$$

ومعامل الكفاءة (QF) هو زيادة الآثار المحطمة لأي إشعاع.

وهذا يعني أن أثر الراد يختلف حسب نوع الأشعة المستخدمة من نوع شعاع إلى نوع شعاع آخر، أي أن الراد لشعاع شديد التأين يكون أكثر تحطيماً للخلايا من الـراد للأشعة السينية والجامية وأشعة بيتا ولابد له معامل كفاءة أعلي (large QF)، ويرتبط معامل الكفاءة (QF) بالأثر النسبي البيـولجي للإشـعاع (RBE) وكلاهمـا (QF)، (RBE) ناتج من زيادة الأثر البيولوجية للأشعة شديدة التأين إلا أن (RBE) يختلـف باختلاف النسيج المتأثر تحت تأثير نفس الشعاع فى الوقت الذى يكون فيه (QF) ثابت للشعاع الواحد بغض النظر عن النسيج المتأثر، وقيمة (QF) للأشعة السينية، والجامـا والبيتا (الإلكترونات) هو الوحدة وبذلك يتساوي الـراد والـرم، النيترونـات (n) ذات

الطاقة الأقل من (10Mev) يساوي 3 والأكثر (10mev) يساوي 10 ونفس القيمة للبروتونات (P) ولجسيمات ألفا والاجسام المنشطرة 20.

والجدول يوضح نوع الجرعة والوحدة المستخدمة فى قياسها:

جدول (4-1)

نوع الجرعة الإشعاعية	وحدة القياس	التعريف/الرمز
1. النشاطية الإشعاعية	(بيكريل)Bequerel(Bq)	1Bq defined as: one nuclear decay per second.
	(كوري) Curi (Gy)	Bequerel $1Ci = 3.7\times10^{10}$
2. الجرعة الممتصة من الإشعاع بالوحدات العملية SI Units	جراي Grey (Gy)	1Gy defined as: 1 Joule of absorbed energy per kilogram ≡ 1J/kg
3. التعرض للأشعة السينية والجامية	Roentgen (R)	Roentgen (R) defined as: The radiation intensity required to product an ion Action charge of 2.58×10^{-4} coulombs/kg (air)
	Rad (r)	1rad is defined as: An absorbed dose of 1×10^{-2} Joule of energy/kg (tissue) ≡100erg/g
4. وحدة الجرعة المكافئة (DE)	Rem	The measure of the radiation dose interms of it's biological effectiveness in man. Multiplied by a (quality Factor) 1rem ≡1 rad XQF
		QF (α) = 20, 1 rad = 20 rems QF(x,r)= 1, so that: R, rad and ram are equivalen

وقد حددت الجرعة الثانوية من الإشعاع لجميع الأفراد بحيث لا تتعدي (0.17رم /السنة) وقد يصل هذا الحد للأفراد كل على حدة إلى (0.5رم /سنة)، أما العاملون فى مجال الإشعاع فلا يجب أن يتعدي (5رم/سنة)، وهذه الحدود يسمح بها فى حالة الأعضاء التناسلية والعيون، والأعضاء فى الجسم الأقل حساسية بالنسبة للإشعاع مثل الأقدام والأيدي قد يصل الحد المسموح به إلى 75 رم/ سنة للعاملين ويدخل ذلك ضمن الحد الأقصى المسموح بـه (maximum permissible dose (MPD))، وهذه الجرعات يجب أن تقل عن ذلك حتي تكون الأمور آمنة دائما، وخصوصا الشعاع

الساقط بشكل دائم كخلفية وهو (0.125رم/سنة)، وأن التغير فى (MPD) فـــى قيمـــة المناطق التى بها محطات نووية وارد الحدوث.

أجهــزة الــوقــايــة مــن الإشــعــاع

Radiation protection instrumentation

نحتاج لأجهزة قياس الإشعاعات المختلفة الساقطة وذلك لتقدير الأخطار الناجمـــة عنها وللوقاية منها وهي أجهزة إستكشافية (Radiation monitors) والمستخدم منها للأشخاص تسمي (Personal monitors) ومنها المحمـــول (Portable monitors) والأكبر من ذلك (area monitors) والفكرة الأساسية التى بنيت عليها صناعة هـــذه الأجهزة هو تأثرها بالإشعاع بمعني تأين الوسط من الإشعاع، وبعضها يعمـــل علـــى تغيير لون الفلم، وبعضها يعمل على فكرة تكسير الروابط بين الجزيئات، أو يعمل على فكرة تخزين الطاقة فى بلورة مادة صلبة ثم تنبعث منه على شكل تفـــسفر، وبعـــضها يعمل على فكرة تغير معامل التوصيل الكهربي وبعضها يعمل على فكرة أن الإشـــعاع يرفع درجة حرارة الوسط المار فيه أو يغير لون شاشة الجهاز (dyes).

ويستخدم الكشاف الكهروستاتيكي فى الكشف عن وجود الإشعاع الـــسيني حيـــث تبتعد ورقتاه (Electroscope)، ويسمي بغرفة التأين (cutie pie) وبه يمكن التعرف على وجود إشعاع جاما وبيتا والأشعة السينية، إلا أنه غير حساس ولا يفيد فى الكشف عن إشعاع الخلفية (Back graund)، ويستخدم فى الكشف عن الإشعاع ذي المستوي العالي وفى حدود (0.01-5) رنتجن/ساعة.

وهناك جيل من غرف التأين يستعمل للأشخاص الذين يعملون فى مجال الإشعاع، يسمي كاشف الجيب (Pocket ionization chamber) حيث يتم شحنه بجهد مناسب (مئات الفولتات)، وعندما يسقط عليها الإشعاع ينقص من قيمة هـــذا الجهـــد والجهـــد المتبقي يشير إلى كمية الإشعاع الذى تعرض له الكاشف.

ويستخدم عداد جيجر لهذا الغرض حيث أن حساسيته أعلي من الأجهزة السابقة ويستطيع أن يسجل إشعاع الخلفية فى المدي (300-200عدة /ساعة) إلا أنه لا يسجل تأين الهواء كما تفعل الأجهزة السابقة، وهو مزود بتدريج يقرأ بالمللي رونتجن/ ساعة، وقد صنع منه إجيال صغيرة توضع فى الجيب وتعطي صوتاً مسموعاً لكل مئات قليلة من العدات، ومن ثم يستخدم للتحذير.

وقد تطورت العدادات الوميضية (scintillation detectors) للإستخدام فى الوقاية من الإشعاع حيث أن هذه الأجهزة حساسة في تحديد أشعة جاما، وتستخدم بالإضافة إلى ذلك فى الوقاية من الإشعاع وفى تعيين نوعه أو تعيين أنواع عديدة من الإشعاعات المنبعثة من عينة واحدة.

وعدادات الإشارة (film Badges) يستخدمها العاملون فى مجال الإشعاع حيث أنها بسيطة وقليلة التكاليف وتعطي سجلاً لا بأس به للجرعات الإشعاعية الساقطة عليهم وهي تستخدم للكشف عن أشعة جاما وبيتا والأشعة السينية، ومن سلبيات هذا الجهاز أنه يسجل الجرعات المنخفضة للأشعة السينية (فلم حساس) أكثر من أشعة جاما القوية وبأستخدام مصفاة خاصة (Special filter) يمكن تغطية هذا العيب ويمكن تعيين نوع الإشعاع الذى سجله عداد القلم الحساس، كما يمكن معرفة الجرعة المؤثرة فى حينه من قراءة، المسجل على الفلم.

وهناك مواد صلبة تعطي بلوراتها وميضاً ((Thermoluminescence(TL)) إذا ما تعرضت للإشعاع مثل الفلورين (fluorite calcium fluoride) الذى يعطي كمية كبيرة من الوميض عندما يسخن نتيجة تعرضه لموادمشعة بشكل تراكمي على مر السنين، وبذلك تستخدم هذه للكشف عن الإشعاع، حيث تعرض بلورة صغيرة من (LiF) لإشعاع مؤين الذى يخزن فيها بتحريك إلكترونات فى ذراتها إلى مستويات عليا وتظل فى وضع إتزان مؤقت فإذا ما سُخنت البلورة فإن الإلكترونات هذه تعود إلى مواضعها الأصلية وينبعث من البلورة قدر من الضوء متناسباً مع مقدار التعرض. وتستخدم هذه الطريقة في تقدير الجرعات الوميضية (Thermoluminescent

dosimetry (TLD)) ويصنع من هذا النوع كواشف شخصية وكواشف معلمية وأخري كبيرة، والأخيرة هذه تستخدم فى محطات رصد الإشعاع بشكل دائم، كما تستخدم الأجيال الصغيرة منها فى رصد الإشعاع الذى يسقط على المرضي حيث يوضع داخل الجسم فى فراغات تسمح بذلك مثل المثانة والمستقيم وفتحات الجهاز التناسلي فى السيدات.

الحماية من الإشعاع فى الأشعة التشخيصية

Radiation protection in diagnostic radiology

تستخدم الأشعة السينية فى المساعدة على تشخيص المرض، وهي تعتبر أوسع الأشعة التشخيصية انتشارا، ويمكن تقليل المستخدم منها بما لا يؤثر على المعلومات المطلوبة وذلك بوضع مواد ماصة للأشعة الضعيفة والتى إذا ما وصلت إلى جسم لمريض يمتصها ولا تفيد فى التشخيص لضعفها ويمكن حساب هذه المصافي (Filters) بمعلومية ما يسمي بنصف القيمة (half- value) كما أن أستخدام أفلام من نوع جيد وحساسية عالية يقلل زمن التعرض.

ويمكن تقليل التعرض للأشعة السينية بضبط النسبة بين مساحة مقطع شعاع الأشعة السينية ومقطع الفلم بحيث لا تزيد هذه النسبة عن الواحد الصحيح ومن الممكن أن تقل، أي مساحة مقطع الإشعاع لسيني بحيث يكون فى حدود مساحة الفلم أو أقل، والقانون التى تخضع له هذه النظم لا يسمح لوحدة أشعة سينية بالعمل إذا لم يتحقق هذا الشرط.

وكذلك لا يجب أن تتعدي المساحة المعرضة للإشعاع السيني من جسم المريض حاصل ضرب مساحة مقطع الشعاع المستخدم (سم^2) وقيمة الجرعة المستخدمة بالرتنجين.

كما يمكن تقليل عدد مرات التعرض للأشعة السينية لنفس الظروف (لنفس هدف التصوير) وذلك بإستخدام فنيين مدربين لهم خبرة طويلة بإستخدام الآلة، والقيام على صيانتها وضبطها فلا يحتاج لإعادة التصوير، ويساعد على ذلك عمل أرشيف يوضع فيه أفلام كل مريض لتجنب إعادة التصوير عند فقد الفلم.

كما أن استعمال الأقنعة الواقعية (shielding) يساعد فى تقليل التعرض الغير مرغوب فيه وخصوصاً حول وفى مناطق الجهاز التناسلي والعين وكذلك السيدات الحوامل خوفاً على الأجنة لأنها حساسة جداً وقد تتشوه، ومن المفضل أن يتم التصوير بالأشعة السينية للحوامل إذا رؤي أنه الحل الوحيد والأخير ويستخدم فى ذلك كل الأقنعة الممكنة والمحققة لأقصي درجات الآمان، وفى حالة الشك فى الحمل فإنه يمكن التصريح بإستخدام قاعدة العشرة أيام (10day rule)(مسموح بالتصوير خلال عشرة أيام من آخر دورة)، هذا وقد وجد أن الإسراف فى إستعمال الأشعة السينية والبعد عن القواعد السابقة يؤدي إلى زيادة الجرعة على المريض مما يؤدي إلى عدم وصول المعلومة بشكل جيد فى التشخيص لتشتت الصورة، أي أن تشتت الصورة يؤدي إلى حصول المريض على زيادة فى الإشعاع كما يؤدي إلى عدم وضوح الصورة، (The patient gets more radiation and the operator gets less information).

ووحدات الأشعة السينية الحديثة تضبط ذلك أتوماتيكاً من حيث درجة الوضوح ودرجة التناقص غير أن أي خلل قد يعرض المريض إلى مزيد من الإشعاع وبذلك تكون المتابعة والصيانة والمعابرة للألة فى غاية الأهمية، كما يجب أن تزود الآلة بمقياس الجرعة المسمي راب متر (rapmeter).

الوقاية من الإشعاع عند العلاج بالإشعاع

Radiation protection in radiation therapy

تستخدم الإشعاعات المكثفة فى العلاج لذلك تحفظ مصادرها فى حظائر معزولة عزلاً تاماً بحيث تمتص كل الأشعة الصادرة من هذه المصادر فى حالة عدم الاستعمال امتصاصً تاماً. كما أنه فى حالة التشغيل تعمل كل الاحتياطيات بحيث تصل الجرعة

المطلوبة والمحسوبة للمريض المعين فى المكان المعني دون سواه وفى غرفة العلاج لا يمكن لأحد من الدخول أثناء عمليات التشغيل وإذا حدث وفتحت الغرفة ليدخل أحد فإن فتح الغرفة يكون مجهز تجهيزاً جيداً ليوقف آلة العلاج، لحظياً، والمصادر نفسها يجب أن تكون معزولة عزلاً جيداً ويمكن حساب ذلك مثلاً لمصدر من الكوبلت Co^{60} ولقياس شدة الإشعاع المنبعث (I) من أي مصدر مشع **فإنها تحسب من المعادلة:**

$$I\gamma = \Gamma N / D^2$$

حيث D هي المسافة بالمتر من المصدر الذى به N ميجا بكريل (MBq) أو كوري (curies) لمادة مشعة، Γ ثابت (gamma) لكل مادة مشعة يعتمد على عدد الطاقات الجامية للأشعة المنبعثة لكل عدة (أي $3.5\times10^{-5}\,Rm^2 / MBq.hr.for Co^{60}$) ومن هذه المعادلة تتضح زيادة شدة الأشعة المنبعثة بنقصان المسافة.

ولحساب سمك العوازل اللازمة للوقاية من الإشعاع نستخدم المعادلة (معادلة الامتصاص أو معادلة التهدئة):

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث I شدة الشعاع الخارج من العازل الذى سمكه x، I_0 هي شدة الإشعاع الابتدائية، μ معامل الامتصاص الخطي والذى يرتبط بقاعدة نصف الطبقة **بالعلاقة:**

$$\mu = 0.693 / HVL$$

حيث HVL هي (half value layer).

ويعطي السمك بدلالة شدة الإشعاع بالمعادلة:

$$x = \frac{2.3\log(I_0 / I)}{\mu}$$

وبذلك نصل إلى أن العزل المطلوب لمصدر كوبلت Co^{60} أن يوضع المصدر فى كرة من الرصاص قطرها 60سم وكتلتها عدة أطنان، والمرضي الذين يوضع لهم

مصدر فى أجسامهم فإنهم يظلون فى داخل غرف العلاج (المستشفيات) لمـــدد معينـــة تؤدي إلى العلاج المطلوب وتقي الآخرين شر الإشعاع الصادر مـــنهم، كمـــا ا، هـــذه الغرف يجب أن تكون تحت الملاحظة بل والمراقبة الدائمة ويجـــب أن تكـــون هيئـــة التمريض على أعلي درجات التدريب **ويتلخص ذلك فى:**

1. تقليل وقت الاتصال بالمريض إلى أقل فترة زمنية ممكنة.
2. زيادة المسافة الفاصلة بين المريض والمتعامل معه.
3. استخدام الجدارن العازلة (shielding)، كلما أمكن ولو كانت متنقلة، كما أنه يجب التأكد من المريض الذى يعالج، بإبر الراديوم أنه لم يفقد أحداهم.

والمرضي الذين يعالجون بزراعة الحبوب المشعة (seeds) من غاز الرادون أو الذهب Au^{198} أو المرضي الذين تم علاجهم باليود المشع I^{131} يجب الابقـــاء علـــيهم داخل غرف العلاج حتي تتأكد أن مستوي الإشعاع قد هدئ إلى المستوي الآمان.

الوقايـــة مـــن الإشعـــاع فـــى الطـــب النـــووي

Radiation protection in nuclear medicine

فى الطب النووي على المعالج إتباع **ما يلي:**

1. أي نوع من الإبحاث هي الأنسب.
2. استخدام الدواء من الجرعة الإشعاعية المناسبة.
3. استخدام الكميات المناسبة من الجرعات الدوائية الإشعاعية وبالنسبة لمصدر Tc^{99m} لابد من معايرته.
4. تقديم الجرعة الدوائية الإشعاعية المناسبة للمريض المناســب، وتفــادي أي خطــأ خصوصا فى وجود زحام.

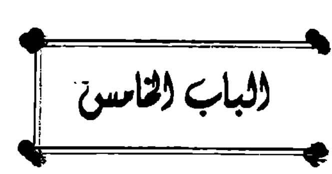
5. التأكد من أن أجهزة قياس الإشعاع الخارج من الجسم تعمل بكفاءة تامة واستخدام الاختبارات القياسية باستعمال مصورة الجاما أو الماسح الخطي.

ومعظم المودا المشعة المستخدمة تشع أشعة جاما وبذلك يكون العزل الإشعاعي خاص بأشعة جاما ذات قوة الاختراق الكبيرة، أما المصادر الباعثة لأشعة بيتا فإنها تمتص فى مللي مترات قليلة فى الأنسجة تحت العلاج.

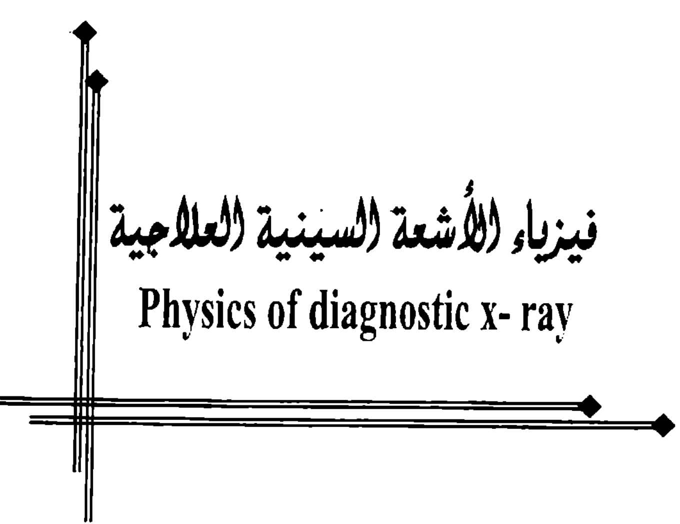
كما أنه من الوقاية من الإشعاع ملاحقة الحوادث الإشعاعية والعمل على إزالة آثارها، **ومثال ذلك:**

1. إذا لم يتمكن المعالج غلق حظيرة المصدر فى الوقت المناسب أو أن المصدر المزروع فى جسم مريض حددت جرعته خطأ بالزيادة، أو أن إبر الراديوم كسرت وابتلع المريض جزء منها أو أن المريض تقيأ الجزء المبتلع فى مكان لم ينتبه له الأمر الذى يمثل خطورة كبيرة.
2. طرق تخزين واستلام المواد المشعة المسلمة إلى مراكز العلاج إذا لم يكن القائم عليها خبير فإن الأمر يُمثل حادثة.
3. نقل مصادر الإشعاع من حظائرها إلى موقع الاستعمال والعكس.
4. نظافة مكان المصادر الإشعاعية المعروفة وغير المعروفة، وملاحقتها بأجهزة الكشف وتقدير كمية الأشعاعات من حيث أنها آمنة أم خطرة.
5. وفى حالة وجود خلل فى وحدة الكوبلت Co^{60} فإن المريض يجب أن يترك غرفة العلاج مباشرة ويغلق المجمع المستخدم لمحاصرة الإشعاعات الصادرة عنه.
6. فى حالة إبر الراديوم يجب أن نتأكد من أن جزء منها لم يتحول إلى غاز رادون وذلك بوضع إحداهما فى أنبوبة إختبار وغلقها بقطعة من القطن ثم بعد يوم يختبر القطن أن كان به أثر إشعاع أم لا (الأثر لابد أن يكون رادون).

ولذلك يفضل استخدام cesium 137 $(Cs)^{137}$.



الباب الخامس



فيزياء الأشعة السينية العلاجية

Physics of diagnostic x- ray

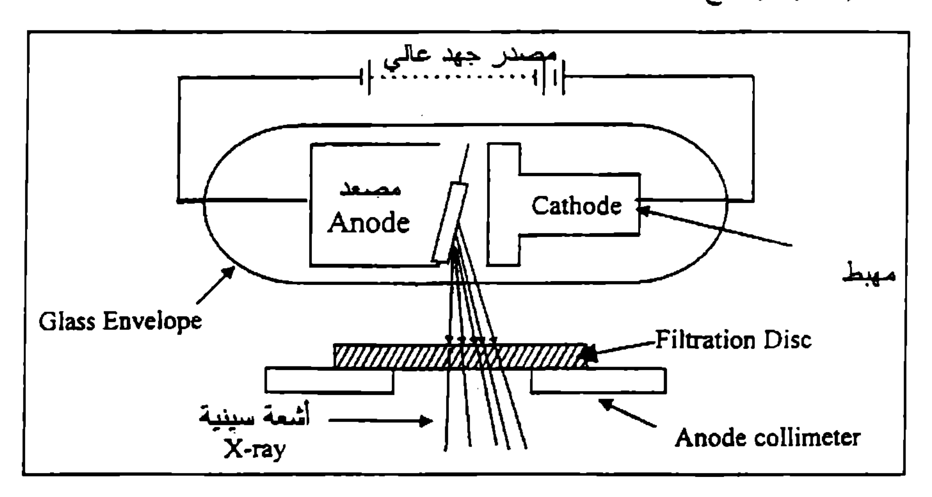
الباب الخامس

فيــزيـاء الأشعـــة السينيـــة العلاجيـــة

Physics of diagnostic x- ray

مقــدمــة:

الأشعة السنية أشعة كهرومغناطيسية تُمثل جزء من الطيف الغير مرئي ويمكــن الحصول عليها بقذف مادة صلبة تقيلة بسيل من الإلكترونات المعجلة فى محيط مفرغ، وعند تصادم الإلكترونات بالمادة الصلبة فــإن الأشـــعة الـــسينية تنبعــث لإختــراق الإلكترونات المعجلة إلى داخل ذرات المادة الصلبة وتؤثر على إلكتروناتهــا الداخليــة الأمر الذى يؤدي إلى إنتاج موجات قصيرة ذات طاقات عالية هي الأشـــعة الـــسينية، والشكل (1-5) يوضح ذلك.



شكل (1-5)

والأجهزة الحديثة تُصنع المصعد بحيث يسهل إدراته وبالتالي تتغير نقطة التصادم بين الإلكترونات والمصعد فيقل الأثر الحراري على المصعد فضلاً على تزويد الأجهزة بأنظمة التبريد حتي لا يتأثر المصعد. والأشعة السينية المنبعثة تعتمد على مادته، وكلما زاد العدد الذري لمادة المصعد ترداد كفاءة الأشعة السينية الناتجة، ومن الأفضل أن تكون نقطة انصهار مادة المصعد عالية (معظم الأجهزة تستخدم مادجة المصعد من عنصر التنجستين (Tungesten) حيث عدده الذري 74 ونقطة انصهاره 3400°م كما تستخدم مساحة مقطعه كبيرة أو صغيرة).

وسيل الإلكترونات الذى يصطدم بالمصعد ويصل عدد قيليل من هذه الإلكترونات ذات الطاقات العالية جداً فى الغلاف الذري إلى عمق الغلاف ويفقد طاقته فى انتزاع أحد إلكترونات المستوي الطاقي (k) ليصبح مكانه شاغراً لا يلبث أن يشغله أحد إلكترونات من المدرات الخارجية. فإن شغل بإلكترون من المدار L فإن الأشعة السينية الناتجة تسمي K_α وإذا حدث ذلك من إلكترون من المستوي M فإن الإشعاع السيني يسمي K_β، ونظراً لأن هذه الانتقلات مستمرة باستمرار فى الإلكترونات من المهبط إلى المصعد فإن الأشعة السينية المنبعثة يستمر خروجها، وطيف الأشعة السينية الذى يخرج من الانتقلات هذه يسمي طيف الأشعة السينية الخطي وعادة يكون متراكب مع طيف آخر ينتج من تأثير الإلكترونات المعجلة على اهتزازات أنوية مادة المصعد وأثناء هذه الاهتزازات يعطي أشعة سينية تسمي بالطيف المستمر للأشعة السينية ويسمي بإشعاع الفرملة (white radiation or brake radiation or bremsstrahlung).

امتصاص الأشعة السينية

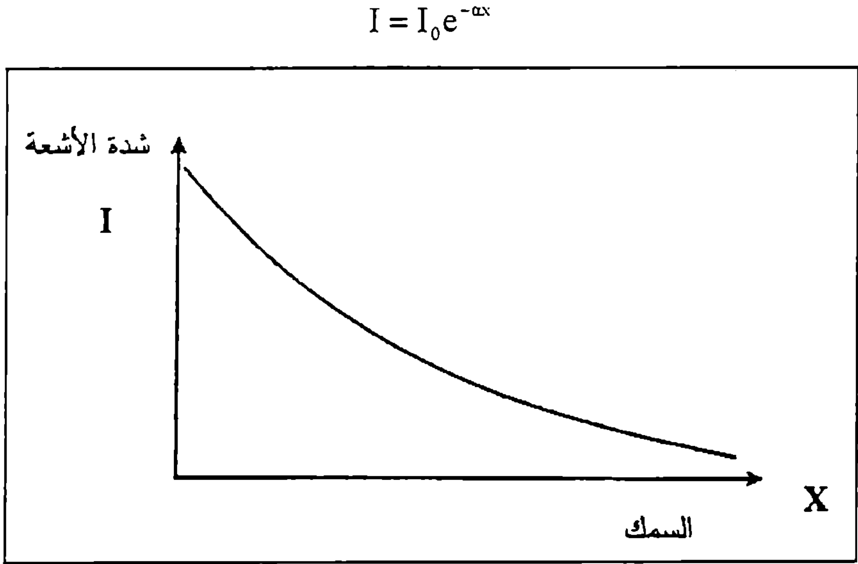
X- ra absorption and contrast media

يختلف امتصاص الأشعة السينية من مادة إلى أخري، فالعناصر الثقيلة مثل الكالسيوم تمثل عناصر جيدة لامتصاص الأشعة السينية عن العناصر الخفيفة مثل

الكربون والأكسجين والهيدوجين، ولذلك فإن المركبات التى تحتوي على عناصر ثقيلة مثل العظام إذا سقطت عليها الأشعة السينية تظهر بوضوح أما الأنسجة اللّينة والعضلات والدهون فهي تمتص الأشعة السينية بنسبة متساوية ولذلك لا يمكن التمييز بينهما فى صورة الأشعة السينية.

وامتصاص الأشعة السينية واستطارتها يؤديان إلى تهدئة وتقليل طاقة الأشعة السينية (attenuation) فإذا سقطت الأشعة السينية على مادة سمكها "x" ومعامل امتصاصها (معامل التهدئة) α (معامل التهدئة) فإن شدة الأشعة السينية الساقطة (I_0) وشدتها النافذة من الجانب الأخر للمادة "I" يمكن التعبير عنها بواسطة العلاقة الآتية والتى تعرف:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$



شكل (5-2)

وبزيادة سمك المادة (x) التى تخترقها الأشعة السينية تقل شدتها النافذة كما فى شكل (5-2).

ونصف سمك الطبقة Half – value layer (HVL) لإشعاع سيني هو سمك

المادة التى تمر فيها الأشعة السينية فتقل شدتها بمقدار النصف.

فإذا ما تضاعفت يسمي بالنصف الثاني، وترتبط قيمة نصف سمك الطبقة (HVL) مع معامل التهدئة أو معامل الامتصاص (α) **بالعلاقة:**

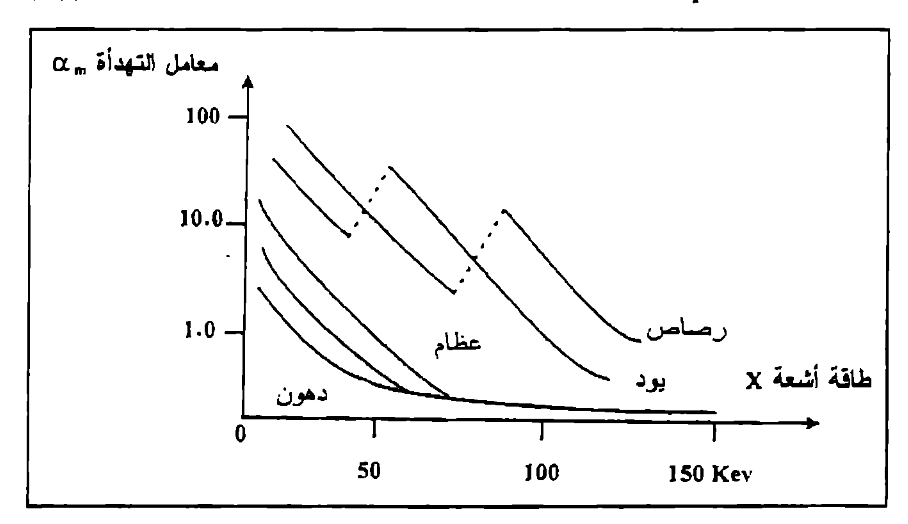
$$HVL = \frac{0.693}{\alpha}$$

وقيمتها للألمنيوم 2.5مم وهي للرصاص 0.1مم ولذلك يستخدم الرصاص كدرع واقي من للإشعاعات المنبعثة، وقد وجد أن رقيقة من الرصاص سمكها 1.5مم تقلل شدة الإشعاع السيني بمقدار 30.000مرة من قيمة الشعاع الساقط عليه.

ويمكن كتابة معادلة الامتصاص السابقة بمعلومية معامل التهدئة الكتلي أو معامل الامتصاص الكتلي (α_m)، وهو يساوي معامل التهدئة الخطي مقسوما على كثافة المادة (ρ).

$$I = I_0 e^{-\alpha_m \rho x}$$

والكمية ρx تسمي كثافة المساحة (density of area) وذلك لكونها جرام/سم^2.



شكل (5-3)

وشكل (5-3) يوضح العلاقة بين معامل التهدئة الكتلي α_m بمعلومية طاقة الأشعة السينية التى تمر فى العضلات، الدهون والعظام، واليود، الرصاص، وقد وجد أن اليود أكثر إمتصاصاً للأشعة البسينية فى المدي 50-100كيلو الكترون فولت (Kev) من الراصاص، وهذه الظاهرة تحدث بسبب التأثير الكهروضوئي (photoelectric effect) والتأثير الكهروضوئي هو إحدي الطرق التى تفقد الأشعة السينية به طاقتها فى الجسم ويحدث ذلك عندما تفقد الأشعة السينية طاقتها لأحد الإلكترونات وتؤدي إلى هروبه من ذرته، وهذه الظاهرة كثيرة الحدوث فى العناصر ذات العدد الذري الكبير (الكالسيوم) وأكثر من العناصر التى عددها الذري أقل، الأشعة السينية اللازمة لتحرير إلكترون لابد أن تكون طاقتها أكبر من طاقة ربط الإلكترون (electron binding energy)، والإلكترونات المستوي (k) طاقتها فى حدود 33(kev) لليود، وللرصاص 88(kev) ولذلك يمتص اليود الأشعة السينية فى الفرق الطاقي بين العنصرين أكثر من الرصاص حيث تتحرر إلكتروناته فى المستوي (k) أسهل. وقد لوحظ أنه عند زيادة طاقة الأشعة السينية عن طاقة ربط الإلكترونات فإن إحتمالية حدوث ظاهرة التأثير الكهروضوئي يزداد وعند بداية هذه الزيادة يرتفع معامل التهدئة الكتلي α_m وتزدادقيمته وتسمي هذ الزيادة المفاجئة بالحافة، (K edge) هذه الحافة لليود 33(kev)، وللرصاص 88(kev)، والعناصر الموجودة فى العظام والعضلات والدهون لها حافة (K edge) ولكن قيمتها قليلة فهي للكالسيوم (5kev).

وتأثير كمبتون (Compton effect) عملية أخري تفقد فيها الأشعة السينية طاقتها، وفيها يتم التصادم بين الأشعة السينية والإلكترونات الأقل تقيداً أو أقل إرتباطاً. وعند التصادم يُعطي الإلكترون جزء من طاقة الأشعة السينية والمتبقي يتحرك به الفوتون المستطار والذى يتحرك بعد التصادم فى اتجاه مغاير لإتجاه الشعاع السيني الأصلي. والطاقة التى يكتسبها الإلكترون يمكن حسابها بقانون بقاء الطاقة وبقاء كمية الحركة (laws of concervation of energy and momentum)، وعدد التصادمات فى تأثير كمبتون يعتمد على عدد الإلكترونات فى واحد سم^3، الذى يتناسب

مع الكثافة. وقد وجد أن جرام واحد من العظام يحتوي من الإلكترونات ما يحتويه جرام واحد من الماء. والعلاقة α_m مع طاقة الأشعة السينية للعظام والعضلات والدهون يوضح أن تأثير كمبتون يأخذ مكانه فى العناصر التى عددها الذري قليل مثل الماء، والأنسجة الليّنة. وفى حالة العظام يكون تأثير كمبتون أكثر احتمالا من التأثير الكهروضوئي عند طاقات الأشعة السينية الأعلي من (kev 100).

والتفاعل الذى يؤدي إلى إنتاج أزواج من الإلكترونات والبوزيترونات عملية أخري لامتصاص الأشعة السينية، وذلك يحدث عندما يمر فوتون طاقته عالية فى مجال كهربي لنواة شدته عالية على أن لا تقل طاقة الفوتون عن 1.02مليون إلكترون فولت، أما إذا توفرت طاقة للفوتون أكثر من ذلك فإن هذه الوفرة تعطي للجسمين الناتجين (pair production) كطاقة حركة وبذلك يعتبر كل من الإلكترون والبوزيترون الناتجين أدوات تهدئة للأشعة السينية. وبعد انتهاء طاقتيهما الحركية فإن كلاهما يندمجان فى رقصة الموت (death dance) وتنتهي حياتهعما وكتلتهما وتظهر فى شكل فوتون كتلة الواحد منه (0.511 Mev) وتسمي هذه العملية بعملية فناء الإشعاع (annihilation radiation).

وهذه العملية تحدث فى المواد التى عددها الذى كبير، ولفهم دور هذه العملية فى العلاج علينا أن نعلم أن العظام تمتص الأشعة السينية التى طاقتها (30kev) فولت أكثر من الأنسجة بما يساوي سبع مرات وذلك للتأثير الكهروضوئي، ولجعل الاستفادة أكثر من ذلك فلابد من حقن المريض بمادة عددها الذري أكبر مما هو كائن وذلك لإحداث ما يسمي بوسط التناقص (contrast media) فى مواضع مختلفة من الجسم، ولذلك تحقن مركبات تحتوي اليود فى الدم ليسهل رؤية الشرايين فى صور الأشعة، كما يرش زيت لزج يحتوي اليود فى الرئتين حتي نري الممرات الهوائية بها (airways) وتعطي مركبات الباريوم (barium compounds) عن طريق الفم لإيضاح الجزء العلوي من الأمعاء، وحقن الباريوم الشرجية لإيضاح الطرف السفلي للجهاز الهضمي، وقد يستخدم الهواء كوسط تناقص (contrast media) فى الرئة.

فى الحالات التى تساعد فيها المقارنة على التشخيص الدقيق تستعمل آلية تسمي آلية الأقصاء (subtraction Technique) وفيها يصور الجزء من الجسم تحت الاختبار بالأشعة البسينية قبل حقن وسط التناقص، ثم يصور مرة أخري بعد الحقن ويتم الإقصاء بالمقارنة ويتم التشخيص الدقيق.

صور الأشعة السينية X – ray images

من المسلم به أن صور الأشعة السينية لا يمكن مبائرتها (focusing) كما نفعل بإستخدام المصورات العادية، وذلك لكونها صور للظل الذى يقع على الغشاء الحساس (فلم).

وهذا الظل هو ظل التراكيب المختلفة للجسم وتسمي عملية التصوير هذه خيال الظل (shadow graphs or skiograph) وكلما كان ظل الجزء المراد تصويره فى الجسم محدداً وواضح كلما كانت صور الأشعة السينية واضحة ومعبرة.

واستخدام مصدر ضوئي نقطي فى التصوير العادي يعطي فرصة لتقليل مناطق شبه الظل التى تتكون من جراء استخدام مصدر ضوئي مساحة سطحه كبيرة، كما أنه يلاحظ إذا مر الضوء المستخدم فى التصوير على حاجز به ماء فإنه يمتص جزء منه وتسبب فى استطارة معظم الضوء الذى لم يمتص ومن ثم يظهر الظل شاحب.

وهذه العوامل نفسها يجب أن تراعي عند التصوير بالأشعة السينية حيث يستخدم مصدر أشعة سينية نقطي البؤرة (focal spot)، ويكون المريض ملاصق للفلم الذى يلتقط الصور، وتكون المسافة بين الفلم ومصدر الأشعة السينية أكبر ما يمكن، ويقلل كمية الإشعاع المستطار من الفلم بقدر الإمكان، كما يجب أن لا يتحرك المريض أثناء التصوير.

ويجب أن نلاحظ أن الاسراف فى أبعاد مصدر الأشعة السينية عن الفلم يقلل شدته ونحتاج إلى وقت تعرض أكبر الأمر الذى يعطي فرصة لحركة المريض وأن كان ذلك

قد يفيد فى منع الأثر الضار وخصوصاً عند تصوير الصدر حيث تكون المسافة بين المصدر والفلم فى حدود 175سم.

وعند تصوير أجزاء سميكة من الجسم مثل البطن والورك فإنه من الضروري تقليل كمية الإشعاع المستطاره عند الفلم والذى يعتمد أساساً على طاقة المصدر إلا أن سمك النسيج الذى يمر فيه الشعاع عامل هام جداً حيث أنه كلما زاد سمك النسيج زاد المستطار من الإشعاع. ويمكن تقليل الاستطارة بتقليل الإشعاع بقدر الإمكان، ويتم ذلك بإستخدام شبكة من شرائح من البلاستيك والرصاص، وتصمم هذه الشبكة بحيث تسقط الأشعة غير المستطارة على شرائح البلاستيك وتصل إلى الفلم وتظهر صورتها أما الأشعة المستطارة فتسقط على الرصاص وتمتص، ويجب أن تكون شرائح الرصاص فى هذ الشبكة رفيعة بقدر يجعل ظلها لا يتداخل مع ظل ما يراد تصويره من أجزاء الجسم أو قد تكون متحركة فلا يثبت ظلها ولا يكون له أثر على الصور الملتقطة، ويجب أن نلاحظ أن جزء من الإشعاع غير المستطار من الممكن أن يمتص فى الرصاص ويؤثر ذلك على وضوح الصورة الأمر الذى يوضح قيمة دقة التصوير، ويحدث هذا عندما تكون المسافة بين الفلم والمصدر كبيرة نسبياً، وإذا ما قورنت صورتين بالأشعة السينية أحدهما أخذت بإستخدام الشبكة والأخري بدونها فإن الأولي تكون أشد وضوحاً وتساعد فى التشخيص.

هذا ويراعي زيادة وقت التعرض فى مثل هذه الصور لزيادة درجة سواد صور الظل (الكثافة الضوئية) وقد يعوض إستطالة وقت التعرض ما أمتصته الشرائح الرصاصية من الإشعاع غير المستطار، وعند تصوير الصدر، يجب أن يمسك المريض عن التنفس حتي تقل حركته، وكذلك صور القلب تكون إلى حد ما قليلا الوضوح بسبب الحركة التى لا مناص من حدوثها، والممكن فقط هو تقليل وقت التعرض بقدر الإمكان واستخدام مصدر طاقة عالية (تيار كهربي عالي الجهد) لتكون شدة الأشعة السينية كبيرة جداً.

والأشعة السينية تلتقط صورها على فلم خاص يوضع بين شاشتين مقويتين

-شعاع (sand- wiched tightly between two intensifying screen) من ورق المقوي (Cardboard's) ومغطاة بطبقة بلورية (مثل $Ca\ \ Wo_4$) التي تمتص الأشعة السينية بشراهة وتمنع مرور أو نفاذ الأشعة فوق البنفسجية، وهذا الفلم مغطى من كلا سطحيه بمادة حساسة للضوء وكل سطح يسجل صورة من خلال الشاشة المقوية الملاصقة له، وأثر هذه الشاشة يؤدي إلى تحسين صور الأشعة السينية أكثر مما لو كان الفلم وحيداً بدونهما رغم أن درجة وضوح الصور تتأثر شئ ما، والشاشتين هذه توضع فى حامل (cassette) مبطن بلبلاد لضمان التلاصق بين الفلم والشاشتين.

وللحصول على درجة تلاصق أعلي يستخدم حامل مفرغ الهواء (vacuum cassette) وهذا يساعد الفلم على تسجيل أدق التفاصيل وبأعلي درجة وضوح وتستخدم فى التعرف على وجود الأورام من عدمه فى المنطقة تحت الاختبار. (e.g cancer) والأفلام المصورة بالأشعة السينية لابد أن تعالج كيميائيا بطريقة صحيحة لإستظهار الصور المطلوبة وإلا ذهبت هباء، ويراعي فى ذلك وقت صلاحية الكيماويات المستخدمة ودرجة حرارة المحاليل المستخدمة، وإذا كانت هذه العملية تتم بشكل أتوماتيكي كما يحدث اليوم فلابد من التجريب فى فلم ما قبل البدء فى الأفلام الأساسية للتأكد من الصلاحية لكل شئ.

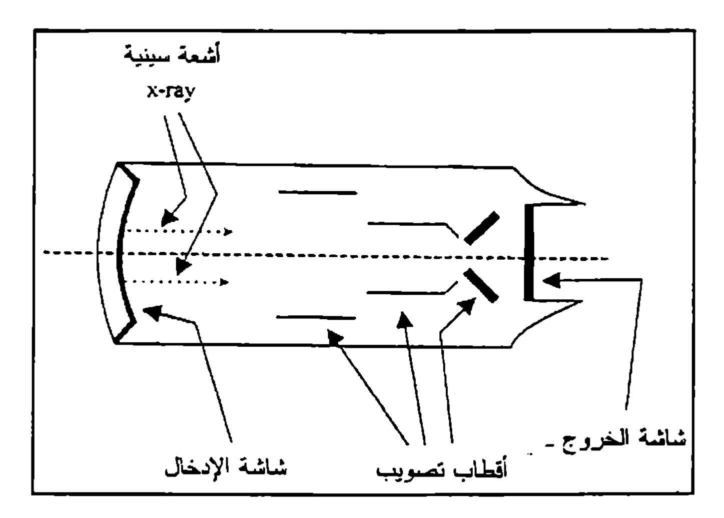
الصور الحية بالأشعة السينية

Live x- ray images- fluoroscopy

معروف أنه إذ سقطت الأشعة السينية على رقيقة مغطاة بمادة فسفورية فإن صور الأشعة السينية تُري بشكل مباشر على شاشة فسفورية والتصوير الفلورسكوبي (fluoroscopic) مفيد فى حالة الحركة مثل ما يحدث عند إستخدام أوساط التناقض (contrast media) على طول المسار الهضمي digestive trac، لتشخيص حالته، وهذا النوع من التصوير الحي يستخدم فى المستشفيات لتقليل النفقات.

والشاشات المعدة لإظهار هذه النوع مغطاة بمادة تتفسفر باللون الأصفر عند سقوط الأشعة السينية عليها كما أنها مغطاة بطبقة من الرصاص الزجاجي تمتص كل ما يسقط عليها من الإشعاع، إلا أن الضوء الناتج فى عملية التصوير الفلورسكوبى يكون ضعيف جداً لذا يراها المعالج بحواس الرؤية الليلية وهي العصيات (rodes) وذلك لأن حساسيتها تزيد على حساسية المخاريط ألف مرة إلا أنها لا تري التفاصيل بدقة، ونظراً لأن العصيات (rodes) قليلة الإحساس باللون الأحمر فإن المعالج يلبس نظارة حمراء لمدة 35دقيقة على الأقل قبل النظر على الشاشة حتي تتأقلم رؤيته على الرؤية فى الظلام (dark –adapt)، وبعض المعالجين يلجأ إل زيادة طاقة الإشعاع السيني حتي تظهر الصور أشد وضوحاً إلا أن هذه الطريقة تؤثر على المريض والمعالج فى آن واحد لكونهما إستقبلا جرعات زائدة من الإشعاع لا تفيد فى التشخيص وقد تضر.

ولتغطية ضعف الإشعاع الذي يصدر فى التصوير الفلوروسكوبي النمطي أو التقليدي لضعفه فإن طريقة تكبير الصورة (image amplifier) بإستخدام أنبوبة تكبير الصور (image intensifier tube) قد استخدمت، وهذه الأنبوبة تكون كما فى شكل (5-4):



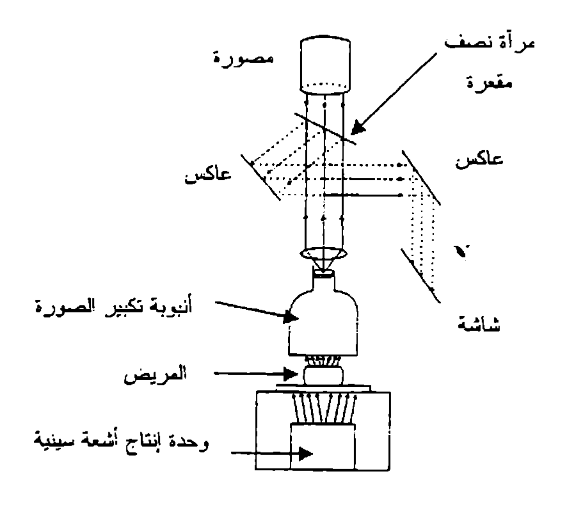
شكل (5-4)

تسقط الأشعة السينية على شاشة الإدخال الفسفورية (fluorescent input screen) داخل صمام مفرغ وهي تتكون من عدة طبقات على قاعدة (A_1)، طبقة فسفورية، ومهبط حساس ضوئيا ينفصل عن الطبقة الفسفورية بطبقة واقية.

فعند تصادم الأشعة السينية مع شاشة الإدخال ينتج فوتونات (شكل 4-5) ضوئية تصطدم بالمهبط الضوئي (photocathode) حيث تتحرر بعض الإلكترونات بالتأثير الكهروضوئي التى تعجل فى إتجاه شاشة أخري هي شاشة الخروج (output screen) بجهد عالي (25ألف إلكترون فولت) حيث يثير كل إلكترون عدداً من الفوتونات الضوئية على هذه الشاشة وتري صورة مكبرة على الشاشة بالعين المجردة ويمكن تصويرها على أفلام سينمائية أو فيديو بإستخدام مصورات مناسبة.

وقد أدي ذلك لمساعدة المعالج ليري الصورة بمحسات الرؤية النهارية والتى تساعد على رؤية التفاصيل.

وهذه الآلية تساعد فى الحصول على تسجيلات وأفلام تساعد العملية التعليمية، كما يمكن استخدام مصورات تلفزيونية لتوصيل الإرسال إلى أكثر من محطة لتعميم الأستفادة فى مناطق عديدة فى الأغراض التعليمية، كما أن ذلك لا يعرض المعالج إلى أية جرعات إشعاعية، الشكل (5-5) يوضح إحدي خطوات العمل بهذه الطريقة.



شكل (5-5)

الأشعـــة السينيـــة المقطعيـــة x-ray slices

فى صور الأشعة السينية العادية يظهر ظل كل الأجسام التى تعتــرض طريقــة الأشعة السينية وبذلك قد يُخفي ظل التراكيب العادية الجزء تحت الاختبار ظل التغيرات التى يحدثها وجود مرض، ولتفادي ذلك فإن صور الأشعة السينية لنفس المنطقة تُلتقط من زاويا وإتجاهات مُختلفة، وقد وجد أن الأشعة السينية فى قطع متتالية أو تــصوير الجسم أجزاء متتالية أو للجزء من الجــسم تحــت الاختبــار (The body section radiography) يعطي نتائج أفضل ويسمي توموجرافي (Tomogrphy) وبه يمكــن التفرقة بين أنواع الظل المختلفة سواء من تراكيب أو تغير فى التركيب بسبب أمراض وقـــد يكـــون التـــصوير التـــومجرافي آليـــا أو بإســـتخدام الحاســـب (Computerised Tomography).

ويتم ذلك بربط مصدر الأشعة السينية وحركة الفلم بنظام واحد للحركة، وبــذلك يقع ظل التراكيب فى المستوي المطلوب للمريض (مستوي القطع The plane of the cut) عند نقاط محددة على الفلم ويتم تصويرها بوضوح، والظل الذى يقــع أعلــي أو أسفل هذا المستوي يكون غير واضح فى الصورة ويمثل خلفية للصوره الواضحة عند مستوي القطع.

والتصوير التموجرافي المحــوري (Axial Tomograpghy) وهــو صــورة مقطعية للجسم يتم إلتقاطها بإدارة مصدر الأشعة السينية والفلم حول جسم المــريض، ويفيد هذا التصوير فى عمل مخطط علاجي للسرطان (Cancer) بإستخدام الإشــعاع، وهو فى الغالب يقارن بصورة لنفس الجزء قبل المرض، وقد تطور وأصبح التصوير المحــوري التمــوجرافي بالحاســب computerized tomogrthy (CT) or computerized axial tomography (CAT) وتستخدم هذه الطريقة فى الحصول على الصورة المقطعية للرأس، ويتم ذلك بإستخدام وحدة أشعة طاقتها عالية (140 كيلو إلكترون فولت) تعطي شعاعين من الأشعة السينية الدقيقة المقطــع (narrow beam)

وذلك لعمل مسح شامل لرأس المريض خطياً، والأشعة النافذة من الجانب الآخر للرأس تسجل على كاشفين (Two detectors) تتحركان مع حركة الأشعة السينية ولكن في الاتجاه المضاد، وكل النتائج تخزن فى ذاكرة الحاسب وبعد الأنتهاء من عمل دورة حول الرأس ترفع أنبوبة الأشعة السينية والكواشف درجة واحدة وتتكرر العملية كلها عدة مرات وفى كل مرة تخزن النتائج فى ذاكرة الحاسب، وبعد عمل 180دورة والتى تستغرق حوالي 5دقائق فإن الحاسب يحلل النتائج ويعطي شكلاً على توزيع الكثافة فى الشرائح. والمعالج يستطيع الإبقاء على النتائج كأرقام أو يطلب الحصول على صورة ممثلة للتغير فى الظلام الممثلة لتركيب الرأس، والأرقام التى نحصل عليها تكون فى المدي 500- إلى 500+ أي من كثافة الهواء إلى كثافة العظام المتاجنسة جداً (متماسكة) Compact bone، وتأخذ كثافة الماء صفر وفى حالة طلب صورة يضبط الجهاز بحيث يغطي المدي من الأسود إلى الأبيض كل درجات الظلال حتى يُعطي صورة دقيقة يوضح فيها الاختلاف فى الظلال والذى قد يكون أقل من 1%.

وقد تم تطوير أجهزة الأشعة السينية المقطعية لتغطي جميع أجزاء الجسم وتتم عملية المسح الشامل فى وقت أقل بكثير من خمسة دقائق ويكون فى حدود 25ثانية، حيث وجد أن التصوير بالأشعة السينية المقطعية للجهاز التنفسي يصعب الإمساك عن التنفس أكثر من ذلك الوقت، والآلية التى تستخدم فى ذلك هو مصدر أشعة سينية مُجمع (collimated) بشكل مروحة (fun shape) مع استخدام كواشف عديدة لتسجيل الأشعة النافذة من الجانب الأخر.

التصوير الإشعاعي بدون شريط (فلم)

Radiographs without film

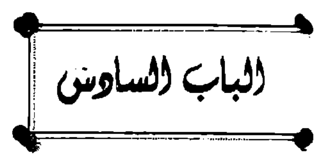
استخدام التصوير بدون فلم فيما يعرف بزيدوكسي (Xeroxing) وذلك بإستخدام الشحنات الكهربية، وكذلك فكرة الزيروكسي للحصول على صور بالإشعة السينية تسمي زيروراديوجراف (xeroradiograph)، وفيه يستخدم لوح حساس مغطي من

مادة السليلنيوم (se) selenium بدلاً من الفلم المعروف لتسجيل الصور، ويشُحن هذا اللوح بشحنة موجبة بشكل متجانس ويثبت فى حامل محكم لا ينفذ إليه الضوء tight- light cassette ويوضع فى مكان الفلم العادي.

والأشعة السينية النافذة من المريض تسقط على لوح الزيروكسي ويمرر جزء من الإلكترونات التى تتعادل مع جزء من الشحنات الموجبة، والمساحات من لوح الزيروكسي تحت الأجزاء السميكة من الجسم لتحتفظ بمعظم الشحنات الموجبة (لا تتعادل) بينما الأجزاء التى تحت الأجزاء الرقيقة من الجسم تتعادل، بعد ذلك يرش لوح الزيروكسي بمسحوق أزرق غامق (fine dark blue powder) مشحون شحنة سالبة، وبالتالي تنجذب الأجزاء المحتفظة بشحنتها الموجبة وتعطي صورة موجبة للجسم الذى عرض للأشعة السينية (positive image of x- rayed object)، وإذا ما أريد الحصول على صورة سالبة بدلاً من الصورة الموجبة فإن المسحوق يكون مشحون بشحنات موجبة عند ذلك تنتقل الصورة سواء كانت موجبة أو سالبة على ورقة مغطاة بطبقة رقيقة من البلاستيك بواسطة الحرارة وتأخذ للإطلاع والاستخدام والتخزين، بعد ذلك يفرغ لوح الزيروكسي من مضمونه ويستعد لصورة أخري.

أثناء عملية التصوير الزيروجرافي تحت تأثير أشعة X- فإن الأجزاء التى تحتفظ بشحنات قليلة غير متعادلة تنجذب إلى حواف الأجزاء التى تحتفظ بشحنات كثيرة غير متعادلة والقريبة منها وتعطي إظلام يحدد الحافة بشكل جيد ويحدث تأثير مساعدة الحافة (edge enhancement effect) فى الأجزاء التى إحتفظت بشحانتها الأصلية، وبسبب هذا التأثير (تأثير الحافة) يكون التصوير الزيروراديوجرافي أفضل فى إيضاح معالم وتفاصيل الأجزاء السميكة من الجسم من صورة الأشعة السينية العادية.

ومن سلبيات هذا النوع من التصوير أنه يحتاج إلى وقت تعرض أكبر.



الضوء في الطب

Light In Medicine

الباب السادس

الضــوء فــى الطــب

Light In Medicine

مقـدمـة:

رغم تقدم الإنسان فى تصنيع مصادر ضوئية كثرة إلى أن الشمس مازالت هـي المصدر الرئيسي للضوء فى كوكبنا، وطيف الضوء يحتوي على ما هو منظور، وغير المنظور.

وللضوء خواص من بينها:

1. سرعة الضوء سرعة عالية جدا $(3\times10^{8}m/s)$ وهي تتغير عند مرور الضوء من وسط إلى وسط آخر. والنسبة بين سرعة الضوء فى الفراغ وسرعته فى وسط ما تسمي معامل إنكساره Refractive index (n) والضوء يحيد عن مساره أو يرتد إذا صادف عائق فى طريقه، وهذه الخاصية تمكننا من تصويب الضوء ورؤية الأشياء بوضوح، وذلك ما يحدث فى حالة رؤية أجزاء الأذن أو البلعوم.
2. الضوء يسلك سلوكا موجيا فيعطي التداخل والاستقطاب والحيود كما يسلك سلوكا ماديا ويمتص بواسطة جزيئات وسط ما، وعندما يمتص الكم الضوئي فإن طاقته تستخدم فى أشياء كثيرة، فهي تسبب تغيرا كيميائيا فى الجزئ الذى بدوره يتحول إلى تغيرات كهربية، وهذا ما يحدث بالفعل عندما يمتص كم ضوئي فى بعض الخلاليا الحساسه فى شبكية العين حيث تتحول التغيرات الكيميائية نبضات كهربية تصل إلى المخ.

3. عندما يمتص الضوء فى وسط ما تظهر طاقته على شكل حرارة، وهذا ما يحدث عندما تستخدم الأشعة تحت الحمراء Infra red (IR) لتسخين بعض الأنسجة.

كذلك استخدام الحرارة الناتجة من أشعة الليزر فى عملية لحام الأوعية الدموية لوقف النزيف عندما تكون عملية ربط الأوعية صعبة مثل ما يحدث فى شبكية العين.

والموجات الضوئية فى منطقة الطيف فوق النبفسجي (ultraviolet) أطوال موجاتها يقع فى المدى 100–400فانوميتر وأطوال الموجات الضوئية فى المنطقة من الطيف تحت الحمراء (Infrared) تقع فى المدي 700-10000 نامومتر، ووحدات قياس الموجات الضوئية هي نانومتر، ميكرومتر، انجستروم، وترتبط ببعضها على النحو التالي:

$$A^0 (1\text{Angstrom}) 1A^0 = 10^{-10}\,\text{meter}\ ,\ 1\text{nm} = 10^{-9}\,\text{m}\ ,\ 1\mu = 10^{-6}\,\text{m}$$

µ ميكرون

تطبيقات الضوء المرئي فى الطب

Application of visible light in medicine

المعلومات الأولية التى يحصل عليها الطبيب المعالج تتم بالرؤية، وذلك بملاحظة أي تغير فى لون الجلد مثلا أو أي تغير فى تراكب الجسم الخارجية من حيث أنها طبيعية أو غير طبيعية، وقد يلجأ الطبيب إلى استخدام قطع ضوئية مثل المرايا لإضاءة فتحة ما فى الجسم لرؤية ما يؤثر عليها، وقد تكون هذه المرايا مصممة بشكل ما لتخدم غرض ما مثل ما يحدث فى فحص الأذن أو الزور أو العين.

والأجهزة المستخدمة لرؤية الأجزاء الداخلية فى بعض تجاويف الجسم تسمي أجهزة الإراءة الداخلية (endoscopes) أو المناظير مثل منظار المثانة (Crystoscope) وهو الذى يستخدم فى فحص المثانة ومنظار المستقيم (Proctoscope) ويستخدم فى فحص المستقيم (rectum) ومنظار الرئة

bronchoscope) ويستخدم لفحص الهواء المار داخل الرئة (lungs))، وكثيراً من هذه الأجهزة مزود بمساعدات الإراءة مثل مكبرات للجزء تحت الإختبار، وقد ساعدت الخيوط الضوئية (fiberoptic) على تصنيع مناظير مرنة وبذلك سهلت فحص الأجزاء من الجسم التى لم تكن تفحص بالمناظير الغير مرنة (rigid endoscopes) مثل فحص الأمعاء الدقيقة والغليظة وقد يصل طول بعض هذه المناظير إلى أكثر من متر، ومعظم هذه المناظيرمزودة بقناة خاصة تمكن الطبيب من الحصول على عينات (biopsies) من الأنسجة (tissues) للفحص تحت الميكروسكوب العادي لتأكيد التشخيص، ويجب أن نلاحظ أن إضاءة المناظر لها حدود لتفادي أثر التسخين الناتج منها للأنسجة ولتقليل هذا الأثر تزود الأجهزة بمرشحات (filter) لإمتصاص الأشعة تحت الحمراء (infrared) لتقليل الأثر الحراري للأشعة وتسمي المناظير في هذه الحالة المناظير الباردة (Cold- light endoscope) حيث يكون أثر الأشعة تحت الحمراء أقل ما يمكن.

وعند أنتقال الموجات الضوئية أو الانتقال الضوئي (transillumination) خلال الأنسجة نلاحظ أن الإضاءة حمراء وذلك لكون كرات الدم الحمراء هي المكون الأساسي فى الشعيرات الدموية وتلك تمتص كل ألوان الطيف فى الضوء المرئي الساقط على النسيج الحي ولا ينفذ منه إلا اللون الأحمر الذى يظهر النسيج بذات اللون (أنظر مغمض العينين فى غرفة مضاءة)، وبذلك يكون للضوء الأحمر أهمية خاصة عند استخدام الانتقال الضوئي فى اكتشاف استسقاء الرأس (hydrocephalus or Water- head) فى الرضع.

ويسهل هذه المهمة أن عظام جمجمة الرضيع لم تكن تكلست تماماً (Calcified)، وبذلك يتمكن الضوء من النفاذ إلى داخلها فإذا ما كان هناك زيادة نسبية واضحة فى السائل المخ شوكي ((cerebrospinal fluid (CSF)) فى الجمجمة فإن الضوء سوف يستطار (scattered) على اتجاهات عديدة فى الجمجمة ويعطي نموذج ضوئي للحيود يميز استسقاء الرأس عند الرضع (hydrocephalus Or Water – head) ولا يمكن

الحصول عليه إلى فى هذه الحالة.

ويستخدم الانتقال الضوئي (transillumination) أيضاً للكشف عن أنقباض الرئتين (pneumoghorax or collapsed lungs) فى الرضع، حيث يسقط الضوء الأبيض على صدر الرضيع من الأمام وينفذ ويرتد منعكساً من الجدار الخلفي للصدر ليوضح درجة إنطباق الرئة ومن ثم يستطيع الطبيب شفط الهواء بين القفص الصدري والرئة ليعود للرئة إنبساطها، وتعالج حالات التواء الأمعاء والتصاقها بنفس الطريقة.

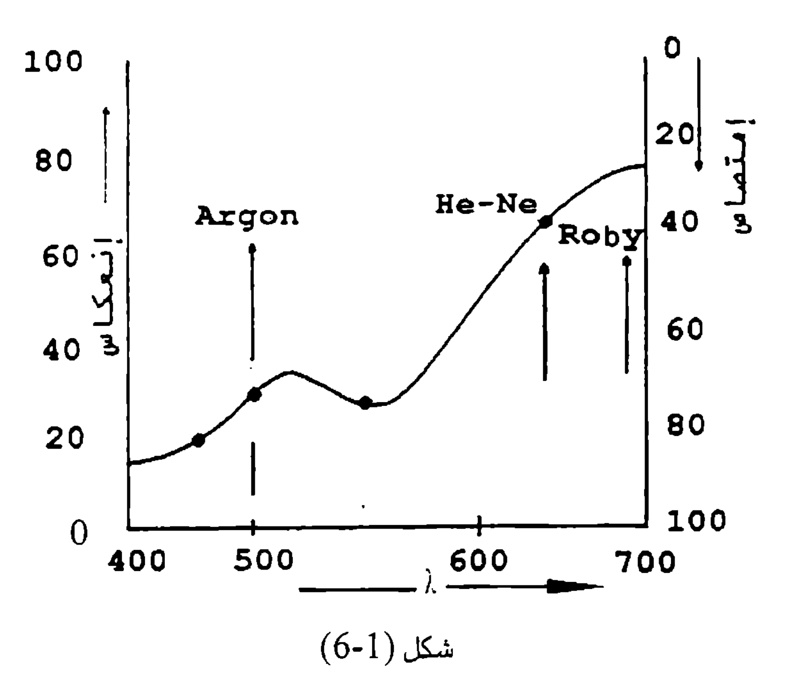
وللضوء المرئي استخدامات خاصة فى العلاج الطبيعي (الإشعاعي) (therapeutic)حيث يكون له تأثيرات فسيولوجية، كثيراً من الرضع المبتسرين يعانون من يرقان شديد (Jaundice) وقد وجد أن الرضع يشفون من هذه الحالة إذا تعرضت أجسامهم للضوء المرئي أي للعلاج بالضوء (phototherapy) وخصوصاً الضوء الأزرق.

الليزر فى الطب Laser in medicine

يتولد شعاع الليزر من المادة المخزن فيها على شكل شعاع مركز من الضوء إما على شكل موجات مستمرة أو على شكل نبضات شدتها الضوئية عالية ويظل الشعاع مركز لمسافة طويلة ويكون مسقطه فى أي مكان نقطة مثالية، (Spot) ويمكن تصويبه فى مساحة ميكرونات مربعة قليلة، وبهذه الطريقة تكون القدرة الناتجة عند التصويب عالية وتسمي بكثافة القدرة أي القدرة المؤثرة على وحدة المساحات.

وطاقة نبضة الليزر المستخدم فى الطبوالتى تقاس بالمللي جول (mJ) يمكن أن تعطي فى زمن أقل بكثير من جزء من مليون من الثانية (Microsecond) أي تكون القدرة عالية جدا وفى حدود مليون وات (megawatts). وتقاس بمقدار الحرارة المتولدة فى الكاشف أو كاشف ضوئي مثل الخلايا الشمسية (photocell or photodector or solar cell).

ونظرا لأن شعاع الليزر يمد الأنسجة بالطاقة، فإنه من خــواص الليــزر الــذى يستخدم يجب أن يمتص جزء كبير منه فى الأنسجة والشكل (6-1) يوضح امتــصاص وانعكاس موجات الليزر من على سطح الجلد.



شكل (6-1)

وهذا المنحني يختلف من شخص إلى آخر إلا أن الموجات القــصيرة 400-600 نامومتر تمتص بشكل أكبر من الموجات الطويلة (700 نانومتر). وشعاع الليزر الذى يوجه إلى الأنسجة يرفع درجة حرارتها ويمكن أن يحطمها، ويعتمد مقــدار التحطــيم على الزمن الذى تظل عنده درجة الحرارة العالية ثابتة، وقد يكون التحطيم ناتج مــن التفاعل الكهروضوئي لليزر من تأثير ارتفاع درجة الحرارة، وقــد يكــون الــسببين مجتمعين عند درجة حرارة متوسطة الارتفاع.

والليز يستخدم فى طب العيون فى علاج الانفصال الشبكي، أو منع نزيف الشبكية بإعتبار مشرط لا نزيف منه (bloodless knite) بحيث يرفع درجة حرارة الوعــاء الدموي فى الشبكية لنقطة يتجلط عندها الدم ويسد الوعــاء (photocoagulation)،

وكانت هذه العملية تتم قبل الليزر بإستخدام القوس الكهربي للزينزن (xenono) الذى يعطي ضوء شدته عالية، والذى مازال يفضل فى بعض العمليات، إلا أن نقطة اللحام بالليزر مساحتها صغيرة جداً (50ميكرومتر قطرها) بالنسبة لمثيلها فى حالة الزينون (بقطر 750 ميكرومتر). فضلاً على قصر وقت التعرض.

هذا ويجب أن نقلل من التعرض لموجات الليزر المنعكسة من على سطح ما لخطورتها كما يجب أن تكون جدران الأماكن التى تتم فيها العمليات ماصة أكثر من عاكسة ويحظر مرور العاملين فى منطقة العمل بأشعة الليزر وقت التشغيل.

تطبيقات الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء فى الطب

Application of ultraviolet and infrared light in medicine

طاقة الأشعة فوق البنفسجية أكبر من طاقة الأشعة المرئية وطاقة الأشعة تحت الحمراء أقل من طاقة الأشعة المرئية، ونظرا للفارق فى الطاقة فإن الأشعة فوق البنفسجية تعتبر أكثر فائدة حيث تستخدم فى تعقيم الأدوات الطبية ضد الجراثيم (Germicidal) كما أن تفاعلها مع الجلد أكثر أثرا من الأشعة المرئية وأحد هذه التفاعلات المفيدة هو تحويل الأشعة فوق البنفسجية فى الجلد إلى فيتامين D.

والأشعة فوق البنفسجية تؤثر على لون الجلد وتلونه أو قد تحرقه، وتعتبر الأشعة فوق البنفسجية أحد أسباب سرطان الجلد وخصوصا لمن يتعرضون للشمس وقت كبير (عمال زراعة، صيادين) حيث أنه من المعروف أن الأشعة الشمسية الحارقة تمتص بشراهة فى خلايا (دنا DNA) فى سطح الجلد، وتظهر أثاره عادة عند القمم فى خلايا الجلد مثل مقدمة أرنبة الأنف، وحواف صوان الأذن وخلف الرقبة (القفاه)، وهذا النوع من السرطان يعالج بسهولة عند الاكتشاف المبكر.

واللون الأزرق موجاته قصيرة فهي تستطار بسهولة فى الفضاء وتعطي لون السماء الأزرق والموجات فوق البنفسجية أقصر منها ولذلك تستطار بسهولة ويصل

جزء كبير منها إلى الأرض بشكل غير مباشر أي أن الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن تصل إلى شخص ما وهو جالس بعيد تحت ظل شئ ما أو قد تصل رغم أن السماء غائمة وهذه الأشعة لا ترى لكونها تمتص قبل أن تصل الشبكية وخصوصا فى عدسة العين.

والأشخاص الذين أزالو عدسة العين بسبب أو لآخر لهم القدرة على رؤية الأشعة القريبة من الأشعة فوق البنفسجية.

ونصف كمية الإشعاع التى تصل من الشمس إلى الأرض هي أشعة تحت الحمراء (IR) والإحساس بالسخونة الذي نشعر به ناتج من هذه الأشعة، وهى ليست دائماً ضارة إلا أن تصوب على العين ولتصل إلى الشبكية وخصوصاً فى حالة استعمال نظارة بلاستيكية التى تمتص الأشعة المرئية وينفذ خلالها الأشعة تحت الحمراء وتصوب على الشبكية فتحطمها عن طريق الحرق وقد حُرم كثير من الناس بصرهم بهذه الطريقة، واستخدام نظارات داكنة (سوداء) يعفي من خطر الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء.

والمصادر الضوئية (لمبات) التى تعطي نسبة عالية من الأشعة تحت الحمراء (IR) والتى أطوال موجاتها يقع فى المدي 1000-2000 نانومتر تستخدم فى العلاج الطبيعي (therapy)، وذلك لكون هذه الأشعة تنفذ فى الأنسجة إلى أعماق أكبر من الأشعة المرئية ويفضل استخدامها فى تسخين الأنسجة.

وتستخدم الأشعة تحت الحمراء المنعكسة على سطح الجلد لتصوير الأوردة تحت الجلد وبالرغم من ظهور بعض هذه الأوردة للعين المجردة إلا أن الكثير منها يمكن أن يتضح بإستخدام التصوير بالأشعة الحمراء (near IR) فى المدي الموجي القريب الواقع بين 700-900 نانومتر، وهذا التصوير يعتمد على الإشعاع الحراري الخارجي من الأوردة والذى يختلف كمه من نقطة إلى أخري وبالتالي هذا التصوير يعطي نموذج واضح للأوردة ومحتوياتها.

ودرجة حرارة الأوردة تختلف من شخص إلى آخر، وهي تختلف فى الـشخص الواحد وكذلك من نصف الصدر الأيمن عنه فى النصف الصدر الأيسر الأمـر الـذى يعطي مؤشراً على مكان ارتفاع درجة الحرارة الناتج من أي ورم.

فيزيـاء الفحـص المجهـري فـى الطـب

physics of the microscopical test in medicine

الميكروسكوب الضوئي يمكن تغيير قوة تكبيره بتغير قوة العينية أو قوة الـشيئية، إلا أن أكبر قوة لتكبيره محدودة، وذلك لكون الضوء المستخدم فى المدي المرئي مـن طيف الضوء 400-700 نانومتر، وهذا يعطي الفرصة لفحص أجسام دقيقـة لا يقـل قطرها عن 1ميكرومتر، وهذا يعتبر مرضى لفحص خلاليـا الأنـسجة الحيـة التـى أقطارها فى المدي 5-50ميكرومتر، إلا أن ذلك لا يعطي فرصة لفحص محتوي الخلية وهي من الأمور الأدق والأرق، وبذلك يكون استخدام الضوء المرئي كمصدر إضـاءة فى الميكروسكوب لا يحقق فحص الأجسام التى اقطار أجسامها أصغر من قطر الخلية لسببين:

1. أن أقطار الجسميات المراد فحصها أصغر من طول الموجات الضوئية المستخدمة وبذلك تتشتت عليها ولا توضحها.
2. قوة فصل الجسيمات الدقيقة بعضها عن بعض لدراسة سلوكياتها ودراسـة أنمـاط حياتها لإعداد العدة لمقاومتها تكون غير كافية أو غير متاحة لكون طول الموجات الضوئية المستخدمة أكبر من أبعاد هذه الجسيمات.

لذلك كان من الطبيعي التفكير فى استخدام الأشعة غير المرئية مثل الأشعة فـوق البنفسجية لصغر طول موجاتها حتي يتحقق ما ذكر سلفا، إلا أن هذه الأشعة القـصيرة الموجات لا تري بالعين حيث تمتص قبل الوصول إلى شبكية العين، وقد تـم التغلـب على هذه المشكلة بتصميم ميكروسـكوب يعمـل بالأشـعة فـوق البنفـسجية وهـو

الميكرسكوب المتفسفر أو الفلوي (fluorescent microscope) حيث توضع الشريحة المراد فحصها عليه بعد صبغها بصبغة تتفسفر إذا ما سقطت عليها الأشعة فوق البنفسجية والعين تري ناتج التفسفر وبذلك يمكن دراسة التركيب تحت الخلوي في الأجسام الدقيقة، وقد تم دراسة تركيب كرات الدم البيضاء بهذه الطريقة.

وللحصول على قوة تكبير أكبر من ذلك بكثير وقوة فصل أكبر بين الجسيمات الدقيقة فقد استخدم الشعاع الإلكتروني بدلا من الشعاع الضوئي المرئي وغير المرئي، وذلك لكون الإلكترون مزدوج السلوك حيث يسلك السلوك الموجي والمادي، والموجات المصاحبة للشعاع الالكترونى موجات قصيرة جداً وبذلك يتحقق الفصل الكاف بين الجسيمات الدقيقة والتكبير الذى يصل إلى ملايين المرات، وقد استخدم لذلك الميكروسكوب الإلكتروني والذى تصنع عدساته بحيث تكون عدسات إلكترونية أو مغناطيسية أو هما معاً.

والميكروسكوبات الإلكترونية نوعان إثنان؛ نوع تنفذ الأشعة الإلكترونية خلال العينة العينة ولذلك لزم أن تكون العينات دقيقة ورقيقة حتي تنفذ الأشعة الإلكترونيةمنها حاملة خواصها وترسل بها إلى الشاشة بعد تكبيرها بالقدر المطلوب للدراسة ويمكن طبعها، وهذا يسمي بالميكروسكوب الإلكتروني النافذ transmission èlectron microsocope (TEM) والنوع الآخر يهتم بدراسة سطح العينة ولذلك تدرس الأشعة الإلكترونية المنعكسة من سطح العينة بعد تكبيرها وأرسالها على شاشة حيث أنها تحمل خواص سطح العينة وهذا هو الميكروسكوب الإلكتروني الماسح scanning electron microscope (SEM).

وكما يجب أن نلاحظ أن استخدام الميكروسكوب الضوئي العادي يتطلب صبغ العينات بمواد تمتص بعض أطوال الموجات الضوئية فى الطيف المرئي حتي يمكن أن نرى مكونات العينة، حيث أنها بدون صبغة تكون شفافة بالنسبة للضوء المرئي ولا يمكن رؤيتها فيما عدا كرات الدم الحمراء.

الباب السابع

فيزياء العين والرؤية

Physics of the eye and vision

الباب السابع

فيـــزيـــاء العيـــن والرؤيـــة

Physics of the eye and vision

مقـــدمـــة

ما أعظم أن تري وتستبين طريقك بدون عوائق حتي تكون حركتك حركة آمنـــة لك ولغيرك، تلك هي هداية الله للبشر بنعمة البصر التى تعتمد على ثلاثة ركائز.

1. العين تصوب صور المرئيات من حولها على شبكية العين (eye retina).
2. العصب البصري الذى يحمل المعلومات من خلال ملايين الخيوط العصبية فيه إلى المخ (optic nerve).
3. المركز البصري (Visual cortex) فى المخ وفيه يتم التفسير والأمر بالفعل مـــن عدمه، وفقدان أي من هذه الركائز أو إذا لم يؤدي واحد منها وظيفته فقد البصر.

والعين تتميز بالخواص الآتية:

- تراقب العين الأحداث من خلال زاوية رؤية واسعة، فضلاً عن إهتمامهـــا برؤيـــة هدف خاص تقع عليه بشكل مباشر.
- عملية الرمش تساعد على تنظيف العين من خلال منظفات فى غدد العين.
- التصويب الدقيق والسريع يسمح برؤية الأجسام القريبة والبعيدة.
- العين تعمل بكفاءة عالية فى مدي واسع من الشدة الضوئية ($1:10^{10}$) وذلك بين قمة

الإضاءة بالنهار إلى الرؤية فى الظلام الحالك بالليل.

- فتحة عين الأنسان تعمل بشكل آلى.
- فى العين نظام ينظم الضغط داخلها ويحفظه عند 20مم زئبق ومن ثم يحفظ عليها شكلها.
- قرنية العين شفافة مزودة بمنظفاتها ولا تمر فيها شعيرات دموية للإبقاء على شفافيتها.
- العين محمولة علي قواعد دهنية نقيها الصدمات وتمتصها عنها كما يحيط بها محجر من العظام كدرع واق.
- تظهر صور المرئيات مقلوبة على شبكية العين ولكن المخ يصحح الوضع لنري الأشياء معتدلة كما هي.
- المخ يؤلف بين الصور من كل عين ويعطي الإحساس بالرؤية المجسمة، وفى حالة فقد عين نشعر بنفس الإحساس.
- العضلات المرنة للعين تمكنها من الحركة في كل إتجاه.

عناصر التصويب (المبائرة) فى العين Elements of focusing

1. **القرنية (Cornea)**: وهي شفافه نقية فى الجزء الأمامي من العين وتؤدي ثلثي عملية التصويب وقوة التصويب فيها ثابتة بإنكسار الضوء النافذ خلالها.
2. **عدسة العين (eye lens)**: وتقوم بعملية التصويب الدقيق لكونها مرنة ومثبتة بعضلات مرنة تمكنها من تغيير قوتها وبعدها البؤري ومن ثم يتغير البعد البؤري للمجموعة الضوئية المكونة من العدسة والقرنية.

ويجب أن نلاحظ أن إنكسار الضوء خلال قرنية العين يعتمد على نصف قطر تكور سطحها وسرعة الضوء فى عدسة العين مقارنة بسرعته فى الوسط المحيط أي

يؤخذ فى الاعتبار معامل أنكسار الوسط ومعامل إنكسار القرنية.

ويختفي دور القرنية فى التصويب تحت سطح الماء وذلك لأن معامل إنكسار الماء (1.33) وهو فى حدود (1.37)، وذلك يرتدي الغطاسون قناع (نظارة) يعصم القرنية من ملامسه الماء لتظل تؤدي دورها فى الرؤية (الأسماك إذا خرجت من الماء لا تري ليكون معامل إنكسار مادة قرنيته فى حدود معامل إنكسار الهواء (Unity)، ومعامل إنكساره مادة القرنية ثابت لمعظم البشر إلا أن نصف قطر تكور القرنية هو الذى يختلف من فرد إلى فرد ويكاد يكون المسئول عن كل عيوب الإبصار.

فإذا كان تكور سطح القرنية حاد فإن العين تعاني قصر نظر، كما أن التكور الخفيف يؤدي إلى طول النظر، وعدم التماثل فى التكور فى المستوي الرأسي والأفقي يؤدي إلى حول العين (astigmatism)، وكل عمليات التصويب التى تقوم بها القرنية تتم على سطحها الخارجي حيث أن السائل المائي الملاصق لسطحها الداخلي معامل إنكساره له نفس قيمة معامل إنكسار مادة القرنية، وهو الذي يمد القرنية بكل ما تحتاج إليه من مقومات الغذاء لأنه يحتوي على كل محتويات الدم فيما عدا كرات الدم الحمراء، أما الأكسجين فتحصل عليه القرنية من الهواء (وذلك لكون القرنية ليس بها أوعية دموية حرصا على الإبقاء على شفافيتها)، والقرنية تشفي نفسها كباقي الخلايا الحية فى حالة خدشها أما إذا تعرضت لبعض الإشعاعات مثل الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية أو الإشعاعات النيوترونية وغيرها، فإنه بزيادة مدة التعرض قد تزداد عتامتها وتقل الشفافية ويتطلب ذلك تغيرها، والقرنية البديلة يقبلها الجسم بسهولة وذلك لكون معدل البناء فيها بطئ (metabolic rate) فلا يطردها الجسم.

وعدسة العين لها قوة تصويب من كلا جانبيتها، ودرجة تحدب العدسة من الداخل أكبر منها من الخارج وهي تغير قوة تصويبها بتغير تحدبها.

وقوة عدسة العين أقل من قوة القرنية حيث أن السائل الزجاجي الملاصق لعدسة العين معامل إنكساره قريب من معامل إنكساره العدسة، والعدسة هذه تتكون من عدة طبقات (مثل البصلة) وكل طبقة لها معامل إنكسار يختلف عن معامل إنكسار الطبقة

الأخري.

والعدسة لها غطاء مرن وهي مثبتة بأهداب مرنة فيه، وعندما تكون هذه الأهداب (focusing muscle) فى حالة إسترخاء فإن قوة العدسة تكون أقل ما يمكن حيث تكون العدسة منبسطة وتكون العين ناظرة إلى جسم بعيد والنقطة التى يتم عندها تصويب جسم بعيد فى هذه الحالة تسمي بالنقطة البعيدة (Far point).

والفئات التى تعانى قصر نظر هذه النقطة تكون قريبة من العين عندهم ولتصويب جسم قريب (focus on) فإن الأهداب المرنة حول عدسة العين تنقبض إلى أصغر دائرة وبذلك تؤثر على العدسة ويزداد تحدب العدسة وتزداد قوة تصويبها (focusing power) وبالتالى فإن الأجسام القريبة من العين تظهر صورتها على الشبكية, وتسمى أقرب نقطة للعين والتى تعطى صورة الجسم على الشبكية بالنقطة القريبة (near point).

والقدرة على تغير قوة التصويب فى العين (focal power) تسمى بالتأقلم (accommodation), وبمرور العمر تفقد العدسة قدرتها على التأقلم أو بعض منها وتصاب العين بقصر نظر (persbyopia).

وهناك من الحيوانات ما يصوب نظره بتحريك العين إلى الأمام وإلى الخلف وليس بتغير قوة العدسة كما يفعل بنى البشر، وهذا يجنب هذه الحيوانات مرض شيخوخة البصر (old sight) وإلا لأضطرت الأسماك أستخدام نظارات فى العمر المتأخر.

وإنسان العين (eye pupil) فتحة فى مركز القزحية (iris) يدخل منها الضوء وتبدو سوداء نظرا لأن الضوء الذى يدخل منها يمتص تماما وهذه الفتحة عند ظروف إضاءة متوسطة يكون قطرها فى حدود 3مم إلا أنها تتغير من 2مم فى حالة إضاءة شديدة إلى 7مم فى حالة إضاءة خافتة والتغير من إضاءة عالية إلى إضاءة خافتة يحتاج إلى وقت يتم فيها التأقلم.

والقزحية (iris) تساعد العين بزيادة أو نقصان كمية الضوء الساقط على الشبكية كما تساعد فى تقليل عيوب العدسة فى حالة الإضاءة الشديدة، حيث تساعد على تصويب الضوء ليقع على الشبكية بتقليل قطر إنسان العين.

والسائل المائى يملأ الفراغ بين العدسة والقرنية وهو تقريبا ماء ومعينه لا ينضب والزائد منه يخرج من القنوات الدمعية والتى إذا سدت إرتفع ضغط العين وتسمى هذه الحالة بالمياه الزرقاء (glaucoma), وهو يمد العدسة والقرنية بإحتياجاتها من الغذاء ويحفظ ضغط العين عند 20 مم زئبق.

والسائل الزجاجى بين العدسة والشبكية يعطى العين شكلها الكروى وقوامه لزج ويسمى (vitreous body or vitreous humor) السائل الزجاجى أو الجسم الزجاجى.

وحافظة العين (sclera) تحيط بالعين من جميع الجهات ما عدا جهة القرنية.

وكل هذه العناصر تساعد على تصويب الضوء الساقط على العين ليكون صورة المرئى على شبكية العين حتى تؤثر على العصيب البصرى الذى ينقل النبضات الكهربية إلى المخ وتحقق الرؤيا.

الشبكية Retina

هى العنصر الحساس فى العين والذى يحول الصور الضوئية إلى نبضات كهربية التى ترسل إلى المخ, ويحدث ذلك بإمتصاص الفوتونات الضوئية فى المجسات الضوئية (photoreceptor) التى تقدح النبضات الكهربية وترسلها إلى المخ كجهد حدث (action potential) أوبمعنى آخر الضوء الممتص فى المسجات الضوئية بسبب تفاعل ضوئى كيميائى الذى يسبب جهد الحدث). ولا يسبب ذلك إلا فوتونات لها حد أدنى من الطاقة ولذلك الأشعة تحت الحمراء لا تسببه لكون طاقتها قليلة فهى لا تسببه ولا تُرى.

وطاقة الأشعة فوق البنفسجية عالية لكنها تمتص قبل أن تصل الشبكية ولذلك هى أيضاً لا تُرى.

والشبكية تغطى نصف كرة العين الخلفى من الداخل ولذلك تعطى فرصة لزاوية رؤيا واسعة ولكن أوضح رؤيا تتركز فى منطقة تسمى بالبقعة الصفراء (macula lutea or yellow spot) ومركز هذه البقعة هو أشد أجزاء الشبكية حساسية وتكون الرؤية فيه الأكثر وضوحا (fovea centralis) وصور المرئيات على الشبكية تكون صغيرة جدا.

والمجسات الضوئية (photoreceptors) نوعين فى الشبكية وهى المخاريط والعصيات (القضبان) (cones and rods)، وهذه المجسات منتشرة تحت سطح الشبكية وعلى معظم مساحتها، وهى موزعة بشكل متماثل حول المحور البصرى ما عدا فى النقطة العمياء (the blind spot).

ويصل عدد المخاريط فى كل عين إلى سبعة ملايين وهى تستقبل ضوء النهار أو الرؤية النهارية وبها نرى التفاصيل الدقيقة والألوان وتتواجد فى البقعة الصفراء بكثافة عالية وبكثافة أقل فى جميع أجزاء الشبكية, والمخاريط الموجودة فى البقعة الصفراء كل واحد منها له خيطه العصبى الموصل للمخ أما فى باقى أجزاء الشبكية فأكثر من مخروط يشتركون فى خيط عصبى واحد والمخاريط ليست حساسة لكل الألوان بشكل متجانس ولكن تصل حساسيتها إلى حدها الأقصى عند 600 نانومتر فى منطقة الأخضر_ الأصفر, (yellow _ green), والعصيات تؤدى دورها فى الرؤية الليلية ويصل عددها فى كل عين إلى 110 مليون وتغطى معظم الشبكية وأعداد كبيرة منها يتصل بخيط عصبى واحد وترسل ما لديها من معلومات من خلاله (لكل 100 عصية خيط عصبى واحد) وهذا يعنى أن الفصل بين المرئيات القريبة من بعضها البعض يكون أمر صعب فى الرؤية الضعيفة, وأكبر حساسية للرؤية بالعصيات عندما يكون النظر مصوب إلى الأمام مباشرة, وهى حساسة للون الأزرق- الأخضر أى عند 500نانومتر، وكلا من المخاريط والعصيات لهم نفس الحساسية بالنسبة للون الأحمر

675 نانومتر والعين لا تبلغ أقصى حساسية لها فى ضوء النهار وإنما إذا نقصت شدة الإضاءة بمقدار 1000 مرة مثلا فإننا نشعر لحظيا أننا فى إظلام تام ثم لا نلبث أن نعود لنرى وبوضوح تام، والإظلام الذى حدث هو إظلام التأقلم (dark adaptation) وهو الوقت اللازم للجسم ليزيد من كم الكيماويات الحساسة للضوء فى كل من المخاريط والعصيات، والمخاريط تتأقلم بشكل أسرع من العصيات (5 دقائق) ولكن العصيات تظل إلى زمن أطول من ذلك بكثير، ويمكن الإسراع بعملية الأقلمة (dark adapt) بإغماض العينين عند لحظة التغير الفجائى فى شدة الإضاءة (قطع الإضاءة مثلا) وتوجد منطقة لا يوجد بها مخاريط أو عصيات وهى نقطة العمى (blind spot) وهى منطقة دخول العصب البصرى إلى العين.

وقد وجد أن أقل عدد من الفوتونات اللازم إمتصاصها فى العصية الواحدة ليعطى إحساسا بالرؤية هى عشرة فوتونات من كل تسعون فوتون تسقط على العين. والباقى يرتد أو يمتص وأكثر من ذلك وجد أن فوتونين فقط يكونان كافيان لإحداث إثارة فى عصية تعطى نبضات كهربية إلى المخ ونشعر بالرؤية.

وبعض الحيوانات مثل القطط تغطى خلفية العصيات عندها مواد عاكسة وتجعلها أكثر إمتصاصا للفوتونات الضوئية، هذه الحيوانات تبدو أعينها وكأنها تتوهج فى الظلام إذا سقط عليها الضوء.

أثرالحيود على الرؤية فى العين:

كل الموجات الضوئية تعانى من حيود عن مسارها عندما تمر من فتحة ضيقة وفتحة إنسان العين تعتبر فتحة ضيقة لذلك يتكون نموذج حيود على شبكية العين وإن كان هذا الحيود لا يؤثر على الرؤية فى الظروف العادية، ولكن إذا حدث أن فتحة إنسان العين ضاقت بشكل كبير (0,9 مم) فإن الحيود الحادث عند الشبكية سوف يكون له أثر على درجة الرؤية (visual acuity) ويزداد الأثر بزيادة نقصان قطر فتحة العين عما ذكر, حيث يؤدى هذا إلى عدم تصويب الضوء الصادر من مصدر ضوئى

ليقع على عصيبة واحدة أو مخروط واحد يسبب هذا الحيود حيث يؤدى إلــى ظهــور نقطة مركزية مضيئة على الشبكية لها تشتت زاوى(2θ)**تحكمه العلاقة:**

$$c = 2.44\ 2\theta = C\frac{\lambda}{a}$$

حيث a فتحة إنسان العين, λ الطول الموجى المستخدم وبــذلك يــزداد التــشتت الزاوى كلما نقصت (a) ويغطى أكثر من مخروط أو عصيبة فتقل الرؤية.

حـدة الرؤيـة visual acuity

تقاس حدة الرؤيــة أو قــوة فــصل العــين (Resolution of the eye) بعــدة إختبارات.

فى حالة إستخدام إختبار سنلن snellen's chart لإختبار حدة الرؤية إذا قيــل أن العين حدتها 20/20 هذا يعنى أن العين تحت الإختبار تقرأ تفاصيل شيء ما على بعد 20 قدم وهى نفس المسافة التى تقرأ منها عين صحيحة طبيعية، وإذا قيــل أن العــين حدتها 20/40 هذا يعنى أن العين تحت الإختبار تقرأ تفاصيل شيء ما على بعد 20قدم بينما تقرأه عين صحيحة طبيعية على بعد 40 قدم, وهذه طريقة سهلة ودقيقة وبسيطة.

وتعيين حدة الرؤية أو قــوة فــصل العــين بواســطة المخــاريط فــى البقعــة الصفراء(fovea), ويستخدم لذلك نظام من خطوط سوداء وخطوط بيــضاء متراصــة جنبا إلى جنب على التبادل وبحيث تكون أبعاد الخط الأبيض والخط الأسود فى الصف الواحد ثابتة ثم تقل فى الصف التالى ثم الذى يليه وهكذا. ويسمى هذا النظام بــأزواج الخطوط Line Pair(LP)، وتحت الظروف الممتازة تستطيع العين فصل 30 زوج/مم بالكاد، فإذا ما تراجعت العين تحت الإختبار إلى ضــعف المــسافة تــستطيع فــصل 15زوج/ مم بالكاد، وقوة فصل العين تعطى بدلالة الزاوية التى تصنع بين العــين ولا تعتمد على المسافة وأقل زاوية تؤدى إلى فصل خطين من لون واحد عن بعضهما هى 25 مللى راد.

وليتم ذلك الفصل فإن الخطين الأسودين المتتاليين بينهما خط أبيض، تسقط صورهما على صفين من المخاريط متتابعين بينهما صف مخرايط تسقط عليه صورة الخط الأبيض.

وقوة الفصل تتردى بسرعة عندما لا تقع الصورة على البقعة الصفراء فإذا ما وقعت الصور بعيدة عن البقعة الصفراء بزاوية قدرها 10^0 فإن قوة الفصل تقل بمقدار عشرة مرات، فإذا تغيرت الظروف المحيطة مثل قوة الإضاءة، والخلفية فإن قوة الفصل تتأثر.

الظواهر المتعلقة بالخداع البصرى

Related phenoma with optical illusion

كثيرا ما ترى العين الأمور على غير حقيقتها ويسمى ذلك بالخداع بالبصرى (optical illusion) فإذا نظرنا إلى مساحة مظللة باللون الرمادى فإن العين سوف ترى درجة اللون بالمقارنة مع لون ما يحيط بهذه المساحة فإذا كانت هذه المساحة عبارة عن حلقات متتابعة من اللون الرمادى ولها نفس درجة اللون فإن الحلقة الرمادية المجاورة لحلقة بيضاء سوف تظهر أكثر سوادا وذلك ناتج من خداع البصر من جراء التناقض.

ويصبح ذلك ذو أهمية عندما ننظر إلى صورة أشعة سينية بإستخدام مصدر ضوئى لقراءة الصورة فإذا لم تكن شدة إضاءة المصدر الواقعة على الصورة متجانسة فإن بعض الأجزاء سوف تظهر للعين بدرجة سواد أغمق الأمر الذى قد يؤثر على التشخيص.

كثيراً ما يحدث أن تتوقف الأعصاب عن إرسال النبضات الكهربية للمخ إذا كان الأثر دائم ويحدث هذا لأعصاب العين, وتعوض العين هذا التقصير بعمل إهتزازات دائمة بدوام الأثر, وهذا ما يسمى بإضمحلال التأثر(fading of signal) وعلى سبيل

المثال إذا نظرت إلى صورتين متماثلتين بينهما فاصل نظرة طويلة فإن الفاصل بينهما يختفى فإذا ما تحولت العين عنهم ثم عادت يظهر الفاصل مرة أخرى، ومثال آخر لذلك أنه فى حالة النظر إلى العين من خلال منظار العين (ophthalmoscope) فإننا نرى أوعية دموية كثيرة فى الشبكية، وهذه تقطع الطريق على الضوء فلا يصل إلى المخاريط والعصيات الواقعة تحت الأوعية الدموية، والسبب أننا لا نستطيع رؤية هذه الأوعية الدموية بشكل طبيعى وهو أن ظل هذه الأوعية أيضا يقع على نفس المخاريط والعصيات ويعطى أثر دائم فيضمحل أثره (steady single fades) بعد اللحظة التى تفتح فيها أعيننا فى الصباح، إلا أننا نستطيع رؤية الأوعية الدموية بإستخدام فكرة إنتقال الإضاءة (transillumination).

وما عليك إلا أن تغمض عينيك (closed eyes) وأمسك بمصدر إضاءة بشكل قلم (penlight) وقربه وأبعده عن عينك المغمضة (eyelid) بسرعة، فإن بعض الضوء سوف يخترق الجفن وحافظة العين (sclera) ويجعل الأوعية الدموية تلقى بظلامها على مخاريط وعصيات مختلفة وغير دائمة وبذلك نرى صور الأوعية الدموية نستخدم هذه الطريقة للتأكد من أن الشبكية تؤدى مهمتها.

وكثيرا ما يحدث أن يرى الإنسان دون إضاءة وبالرغم من ذلك فإنه يرى ضوء. وذلك ما يسمى بالفسفان phosphene أى الإضاءة الميكانيكية، ويحدث هذا عند إغماض العين والضغط على محجرها أو إغماضها بشكل محكم، وذلك يثير بعض المحسات الضوئية (light sensors) والمخ يفسر أى نبضة كهربية تأتى من العصب على أنها ضوء، حيث لا يستطيع التفرقة بين مصادر الإثارة التى تصل إليه عن طريق العصب البصرى، فمثلا إذا تلقى شخص ما على رأسه ضربة قوية مؤثرة على المحسات الضوئية العصبية فإنه لحظيا سوف يرى نجوم تتلألأ أمام عينه (see stars).

وكذلك إذا وضع على العين فرق جهد صغير فى حدود (5V) خمسة فولتات فى وقت كانت فيه العين مغلقة فإن العين سوف ترى إضاءة عند وضع الجهد وعند إزالته,

وهذا يعنى أن نبضات كهربية تقدح من خلال العصب البصرى إلى المخ الذى يفسر النبضة وكأنه يرى ضوء.

وعند النظر إلى أجزاء فى مكان نجلس فيه (غرفة دراسة مثلا) وعلى جدران المكان معلقات فعند تحريك الرأس أو العين أفقيا فإن الصور تنتقل من الشبكية إلى المخ تتلاحق بسرعة شديدة فيقر فى فكر المشاهد أن الجدار يتحرك، وكذلك عند النظر إلى مرئيات من نافذة قطار يتحرك بسرعة فإن المخ يفسر الحركة السريعة بإنقلاع المرئى تلو المرئى وكأن المتحرك السريع هى المرئيات وليس القطار.

والمخ يخلط بين الضوء الذى يصل من العينين أى يخلط بين النبضات الكهربية التى تصل إليه من العين اليمنى ومن العين اليسرى لنفس المنظر حيث ترى العينين المنظر الواحد فى وقت واحد لكن بإختلاف قليل فى زاوية الرؤيا وهذا الخلط يؤدى إلى رؤية الصورة مجسمة فى ثلاث أبعاد (stereoimage).

وللحصول على صور مجسمة بإستخدام الميكروسكوب الإلكترونى فإن العينة تمال قليلا قبل التكبير الثانى فيحدث أن تؤخذ صورة أخرى للعينة بزاوية ميل صغيرة وتخلط الصورتين المستوية والمائلة ونحصل على صورة واحدة مجسمة أو صورة فى ثلاثة أبعاد (stereoimage) تستخدم هذه الآلية لتصوير التركيب الدقيق للكروموزوم (chromosome).

وعملية خلط الرؤيا من العينين تتم حتى ولو كانت إحدى العينين سيئة التصويب أو تكبير الصور فى العين اليسرى مثلا أكبر من تكبير الصور فى العين اليمنى. وعندها ترى العين ومضة شديدة (flash) فإن الصورة التى ترى يظل أثرها بعض الوقت فى العين بعد زوال مصدر الومضة وفى هذا الوقت يشعر المخ أن المصدر مازال موجوداً ومؤثراً، فإذا زاد تردد الومضات فإن العمل المشترك بين العين والمخ لا يفسر الضوء على أنه وميض وإنما يفسره بعملية خلط للومضات ونشعر به كأنه ضوء مستمر ودائم (50 ومضة فى الثانية) والعصيات تستشعر هذا الأثر بمعدل أكبر من المخاريط, وهذه هى القاعدة فى العرض السينمائى حيث يعرض فى الثانية

الواحدة حوالى (16ــ35) صورة على شاشة العرض.

رؤية الألوان والزيغ اللونى

color vision and chromatic aberration

من عظمة العين أنها مجهزة لرؤية الألوان بالمخاريط (cones) وهى ثلاثة أنواع أساسية بعضها يرى اللون الأحمر وبعضها يرى اللون الأخضر وبعضها يرى الأزرق, وتلك هى الألوان الأساسية ومنها يمكن الحصول على أى لون بتغير النسبة التى تخلط بها هذه الألوان الثلاثة، وإذا تأثرت المخاريط التى ترى لون ما وفقدت حساسيتها لرؤيته فإن عين الإنسان تصاب بعمى هذا اللون colour blind، والرجال أكثر تعرضا لهذا المرض (8%) من السيدات (0.5%). والزيغ اللونى خاصية تنتج من تغير معامل إنكسار العدسة مع الأطوال الموجية المختلفة (وهو السبب فى تحلل الضوء إلى ألوان قوس قزح بواسطة منشور)، الأحمر الذى يجعل بؤرة كل لون منفصلة عن الآخر وهذا يؤدى إلى ظهور أهداب ملونة على صورة جسم أبيض مكونة بواسطة عدسة، والعدسات التى تمنع ظهور هذه الأهداب تصنع من أنواع متعددة من الزجاج لتعادل أثر تغير معامل الأنكسار مع الأطوال الموجية، والعين لا تفعل هذا وإذا حدث فإن المخ لا يهتم، وبالرغم من هذا فإن حدة الرؤية فى العين تتأثر بإختلاف البعد البؤرى الناتج من إختلاف الألوان ومثال ذلك فإن التغير فى البعد البؤرى للون الأزرق التام deep blue (390 نانومتر) إلى اللون الأحمر القاتم deep red (760 نانومتر) هو 0.7 مم أى ضعف سمك الشبكية وهذا يحتاج إلى تغير فى قوة العدسة العينية قدره 2.5 ديايوبتر.

والنظر إلى مصباح كهربى من خلال مصفاة لون (filter) من الزجاج الكوبلتى فإننا نرى صورتين لفتيلة المصباح واحدة حمراء والثانية زرقاء متجاورتين وإذا كانت العين قادره علىّ تصويب اللونين بشكل متساوى فإن الصورتين سوف تكون منطبقتين (superimposed) وهذا ما يوضح أن الزيغ اللونى لا يؤثر فى الرؤية

ـعادية، والعين تصل قمة حساسيتها فى رؤية اللون الأصفر عند مركز الطيف المرئى
ـ قزحية تحدد مسار الضوء ليكون فى مركز عدسة العين حيث يكون الزيغ اللونى أقل
ـ يمكن، وإستخدام العدسات المسماة بالجراى (yellowish) تعمـل عمـل مـصفاة ضوئية (filter) لتزيل بعض آثار الأحمر والأزرق من الضوء الذى يصل الـشبكية, والإضاءة المتوائمة (monochromatic) والعدسات دقيقة الصنع تؤدى إلى حدة رؤية عالية وأفضل من إستخدام اللون الأبيض، وتكون أحسن ما يكون عند إستخدام اللـون الأصفر.

وهناك أثر خاص للألوان ممكن أن يلاحظ وقت الغسق (dusk time) يسمى بأثر الغسق (dusk effect or purkinje effect) حيث لاحظ براكج أنه عند الفسق الزهور الزرقاء تبدو متألقة أكثر من الزهور الحمراء، وهذا الأثر يحدث من إزاحـة حساسية العين القصوى من اللون الأصفر لتكون منحازة تجاه اللـون الأزرق بفعـل الإضاءة فى وقت الغسق وكأن العصيات تلعب دورا فى إستقبال الألوان عندما تكـون الإضاءة مستواها ضعيف, ونظرا لأن العين مجهزه لتكون فى أقصى حساسيتها للـون الأصفر فإن هذه الإزاحة تجاه اللون الأزرق تعطى خطأ فى الإنكـسار قـدره واحـد ديوبتر الأمر الذى يجعلنا نسلم بأن الرؤية الليلية لمرتدى النظارات تحتاج زيادة قدرها واحد ديوبتر.

عيوب الرؤية وتصحيحها

defect of vision and its correction

يرتبط بعد الصورة وبعد الجسم المرئى وقوة العدسة المستخدم **بالعلاقة:**

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}$$

حيث v بعد الصورة عن العدسة، u بعد الجسم المرئى عـن العدسـة، f البعـد البؤرى للعدسة.

وقياس هذه المسافات بالمتر يؤدى إلى قياس (1/f) وهى قوة العدسة بالديوبتر (diopters) وهذه القوة قد تكون قوة عدسة أو القوة المحصلة لعدة عدسات مجمعة أو مفرقة كل بإشارته.

وعيوب الأبصار فى مجملها عيوب مبائرة (ametropia or focusing) ويمكن تصحيحها فى بإستخدام النظارات، **والعيوب هى:**

- قصر النظر myopia or near- sight .
- طول النظر hyperopia or hypermetropia or long- sight .
- الحول asymmetrical focusing or astigmatism .
- شيخوخة النظر perbyopia or lack of accommodation or old sight.

وبالنسبة لقصر النظر (myopic) فإن العين التى تعانيه تعانى أساسا من إستطالة فى العين على طول المحور البصرى أو أن تكور القرنية واسعة الأمر الذى يؤدى إلى تكون الصور لأجسام قريبة أمام الشبكية وليس عليها، ويعالج هذا العيب بإستخدام عدسة مفرقة (سالبة) لتفرق الأشعة الضوئية وتسقطها عند بؤرة مناسبة على شبكية العين.

وفى حالة طول النظر (hypermetropiac) فإن نقطة العين القريبة(nearpoint) تكون بعيدة وعلى العين أن تقوم ببعض **التأقلم** لترى هذه النقطة القريبة واضحة والعين التى تعانى ذلك يكون قطر كرة العين صغير ولذلك تتكون صور المرئيات خلف الشبكية وإستخدام عدسة لامة (موجبة) تجمع الأشعة على شبكية العين ليعالج الموقف.

ويستطيع الشخص نفسه أن يختبر إذا ما كان قصير النظر أو طويل النظر أو ليس به من ذلك شئ بالطريقة آلتالية:

أنظر من خلال ثقب صغير بورق مقوى (pinhole in a card) إلى جسم قريب

عضاء بشكل جيد، حرك الثقب إلى أعلى وإلى أسفل أمام عينك، فإذا كانت العين صحيحة (emmetrope) فإنك لن تلاحظ أية حركة، أما إذا كانت العين تعانى قصر نظر فإن الصورة على الشبكية سوف تتحرك فى الاتجاه المضاد لحركة الورق المقوى وسوف تظهر فى المخ كما لو كانت تتحرك فى نفس الاتجاه مع حركة الورق المقوى، أما إذا كانت العين تعانى طول نظر فإن حركة الصورة على الشبكية تكون فى نفس إتجاه حركة الورق المقوى, وبذلك تظهر كأنها تتحرك فى عكس الاتجاه.

وبنفس الطريقة يمكن أن نتعرف على عدسة النظارة هل هى سالبة أو موجبة وذلك بالنظر إلى جسم من خلال العدسة تحت الفحص معلقة على بعد ما، فإذا تحركت العدسة فإن الجسم أيضا سوف يتحرك, فإذا كانت حركة الجسم فى إتجاه حركة العدسة فإن العدسة سالبة، وإذا ما تحرك الجسم فى الأتجاه المضاد لإتجاه حركة العدسة فإن العدسة موجبة.

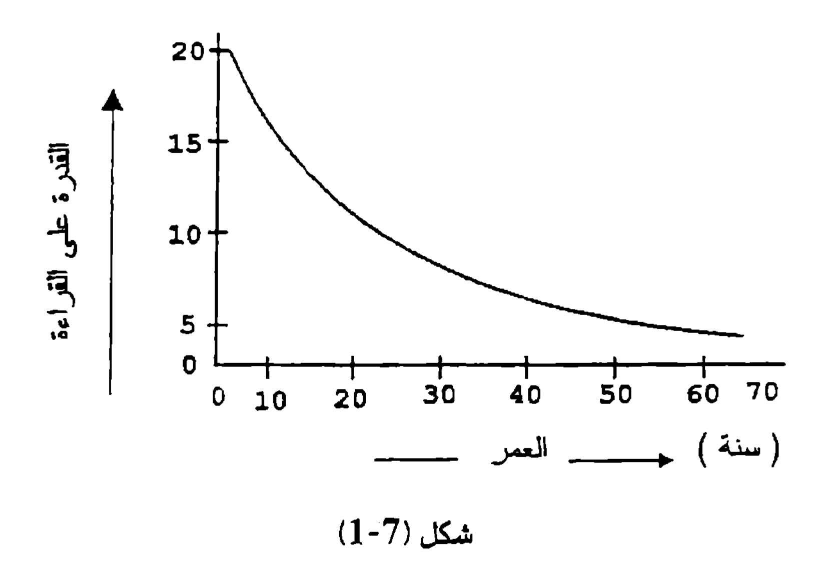
وإختبار آخر بأن ننظر من خلال العدسة على مطبوعات فإذا كبرت المطبوعات فإن العدسة موجبة وإذا صغرت المطبوعات فإن العدسة سالبة.

والعين المصابة بالحول (Astigmatism) يعنى أن تكون سطح القرنية ليس متجانس ولا متماثل أفقيا ورأسيا uneven أى أن المحاور الرأسية والأفقية فى الرؤية لا تكون متعامدة الأمر الذى يشوه الصور على الشبكية وتحتاج العين لعمل إستدارة خفيفة لتعيد هذا التعامد ويتم تصحيح التشوه.

ولذلك يعالج الحول بإستخدام عدسة ليست متماثلة حيث تكون قوتها فى أحد المحاور أقوى من الآخر، ولإختبار العدسة المناسبة فإنه يمكن أن ننظر من خلال عدسة على الجسم موضوع أمام عينك وتدير العدسة أمام العين فإنك ترى الجسم وقد تغير شكله مع الدوران وفى وضع واحد نرى الشكل الصحيح للجسم عندها تسجل زاوية الدوران وتلك الزاوية التى تصلح التشوه الحادث فى سطح تكور القرنية.

ويعانى الناس الذين تزيد أعمارهم عن خمسة وأربعون عاما من عدم القدرة على

القراءة العين المجردة وخصوصا أن الكتابة النمطية فى المجالات غير الإعلامية تكون حروفها صغيرة ويكون من الأفضل إستخدام نظارة قراءة، ويحدث هذا الأمر لفقدان الأهداب المثبته لعدسة العين مرونتها الأمر الذى يفقدها القدرة على التأقلم (accommodation) بتقدم العمر، وهذا الفقدان لمرونة الأجزاء المرنة فى العين يبدأ مبكرا ويصل إلى حده المؤثر عند خمسة وأربعون عاما أو حول ذلك، ويصل إلى قمة فقدانه عند سن السبعين وما بعده، وهذا يؤدى أيضا إلى أن نظارة القراءة المستخدمة تتغير من وقت إلى آخر حيث أنه كلما زادت شيخوخة البصر كلما زادت الحاجة إلى نظارة قراءة قوتها أكبر شكل (7-1).



شكل (7-1)

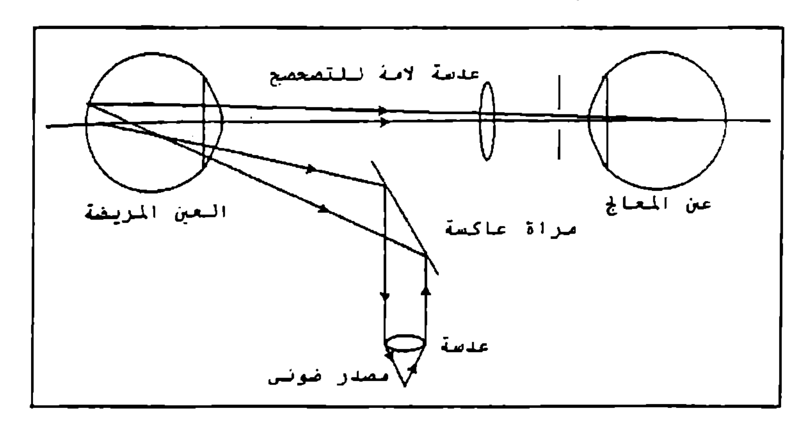
والعدسات الملتصقة (contact lenses) ممكن أن تستخدم لعلاج عيوب الإبصار وتؤدى نفس الدور التى تؤديها عدسات النظارات التقليدية وقد يكون لها ميزات فوق ذلك لدى بعض مستخدميها, وهى نوعين صلبة (hard), لينة (soft) وهى بلاستيكية. وتثبت هذه العدسات على أعلى نقطة فى قمة القرنية أى أعلى نقطة فى تحدب القرنية، والعدسات الملتصقة تعطي صورة كبيرة على شبكية العين لمن يعانون قصر النظر وتعطى صورة أصغر لمن يعانون طول نظر وذلك بالمقارنة مع النظارات التقليدية، وذلك لزيادة التأقلم فى النوع الأول ونقصانه فى النوع الثانى، والعدسات الملتصقة

تساعد بشكل أكبر فى معالجة الحول (astigmatism) حيث يعالج سطح الملتصق بالقرنية كل التشوهات الناتجة من عدم تجانس سطح التكور للقرنية.

ولذلك تكون النتيجة وكأن قرنية جديدة قد حلت محل القديمة والعدسات الملتصقة اللينة أفضل من الصلبة لكونها منفذة وتسمح بوصول الأكسجين إلى قرنية العين مباشرة أما فى العدسات الملتصقة الصلبة فإن الأكسجين يذوب فى محلول الدموع ثم يصل إلى القرنية عن طريق إنتشار الدموع وبها الأكسجين, وسلبيات هذا النوع هو التكلفة الكبيرة، وأنها تحتاج لنظام خاص للنظافة يوميا، وتستخدم العدسات الملتصقة فى أغراض التجميل، ولتفادى حوادث المفاجئة خاصة بالنسبة للرياضيين اللذين لديهم عيوب إبصار ولا تساعدهم النظارات التقليدية.

جهاز فحص داخل العين Ophthalmoscpe

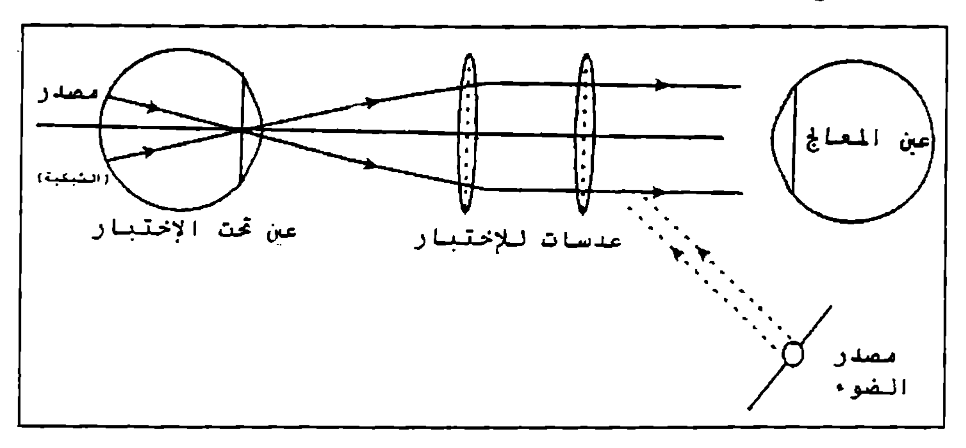
الشكل (7-2) يوضح الجهاز، حيث يسقط ضوء أبيض على العين تحت الأختبار، والضوء المنعكس من على الشبكية للعين تحت الاختبار يضبط بواسطة المعالج بحيث يختار له العدسة المناسبة موجبة أو سالبة، ويجب أن يلاحظ أن داخل العين لا يعانى ولا يكون متأثر بأى أجزاء فى الرأس متأثرة بورم ما حيث أن ذلك يؤثر بشكل مباشر على تحديد العدسات التى يتم إختبارها.



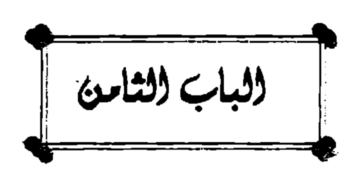
شكل (7-2)

جهاز تصحيح قوة تصويب العين، تصحيح المبائرة Retinoscopy

شكل (7-3) يوضح أن الضوء الأبيض يسقط على عين المريض ليصل إلى الشبكية عن ذلك تعتبر الشبكية مصدر للضوء، والضوء العائد منها ليسقط على عين المعالج يصحح بوضع عدسات فى طريقة موجبة كانت أو سالبة حتى يتجمع عند ما لا نهاية أى يخرج من عدسة التصحيح متوازى، عند ذلك تكون هى العدسة التى تحتاجها العين لتصحيح المبائرة.



شكل (7-3)


الباب الثامن


الموجات الصوتية فى الطب
Waves in medicine Sound

الباب الثامن

الموجـــات الصـــوتيـــة فـــى الـطـــب

Sound Waves in medicine

مقــدمــة:

الصوت هو أداة الاتصال الأساسية وموجاته متباينة الطول ومنها المسموع وغير المسموع، والمسموع يقع فى المدى 20 ذبذبة /ثانية إلى 20 كيلو ذبذبة/الثانية وغيــر المسموع هو خارج هذا المدى فالأقل من 20 ذبذبة فى الثانية موجات صوتية طويلــة طاقتها صغيرة تسمى موجات تحت الصوتية (infra sound waves) وتــصدر فـــى الظواهر الطبيعية مثل الزلازل (earthquake waves) كما تصدر أيضا من تغيرات الضغط الجوى وقد تصدر مع بعض الذبذبات الميكانيكية فى الوحدات الصوتية وتلــك الموجات لا تسمع ولكنها قد تسبب صداع وبعض التأثيرات الفسيولوجية.

وفى المدى الأعلى من 20 كيلو ذبذبة فى الثانية تصدر موجات صوتية قــصيرة جداً طاقتها عالية تسمى بالموجات فوق الــصوتية (ultra sonic waves) ويحــصل عليها من مصادر صناعية كثيرة ولها تطبيقات علمية وصناعية كثيــرة. والموجــات الصوتية موجات كهرومغناطيسية تنتشر فى الأوساط بسرعات مختلفة معتمــدة علـــى نوع الوسط فسرعتها فى الغازات مختلفة عن سرعتها فى السوائل مختلفة عن سرعتها فى المواد الصلبة, وهذه الموجات تنكسر وتنعكس وتمتص وتنفذ من وسط إلـــى آخــر شأنها شأن كل الموجات وتحكمها قوانين الانعكاس والانكسار والامتصاص المعروفــة

ويقاس طولها الموجي بدلالة ترددها وسرعة إنتشارها أى أن طولهـا المـوجى (λ) يعطى بالعلاقة:

$$\upsilon = \lambda.f$$

حيث f هى التردد, أما v فهى سرعة الانتشار.

وتتكسر من وسط إلى آخر وفق قانون سنل (snell) ويمكـن حـساب معامـل إنكسارها بمعرفة زاويتى السقوط والانكسار كما يمكن تعيين معامل إمتصاص وسـط تمر به بمعلومية قانون الامتصاص.

$$I = I_0 \exp^{(-\alpha x)}$$

حيث I_0 شدة الموجة الصوتية الساقطة على وسط سمكه x ومعامل إمتصاصه α وشدتها بعد النفاذ I .

والموجات الصوتية تنتشر من مصدرها فى جميع الاتجاهات وتقل شـدتها كلمـا بعدت عن مصدرها أى أن سعة الموجات تقل كلما بعدت عن المصدر حتى تتلاشـى, ويحكمها فى ذلك قانون التربيع العكسى للمسافة أى أن شدة الموجات الصوتية تـرتبط بالمسافة على الشكل.

$$I \alpha \frac{1}{x^2}$$

حيث X هى بعد نقطة القياس عن مصدر الصوت.

الجسم البشرى طبلة (التطبيل)

the body as a drum (percussion)

إستخدم التطبيل منذ قديم الأزل فى أمور كثيرة منها إكتشاف ما إذا كـان الـشئ مسمط أم أجوف فارغ أم مملوء، كما أستخدم التطبيل على ما صدر المريض وظهـره وبطنه لمعرفة ما إذا كان الموضع صحيح أم معتل، ويعتمد ذلك على حساسية أذن

الطبيب وقدرتها على التفرقة بين الأصوات الصادرة من التطبيل لتشخيص الحالة من حال صحيحة أو حالة مرضية، وطبيعى أن يكون الصوت المحدث معتمدا على مصدره كما ويكون معتمدا على نوع المرض من حيث الشدة والخفوت وتفسير ذلك يرجع إلى خبرة المعالج ويقال أن أحدهم أستطاع أن يشخص ورم غير حميد عند إكتشافه لأصوات مرتدة كما لو كانت مرتدة من فراغات فى العضو المعنى من الجسم وتم التأكد من ذلك بعد الوفاة, ومازال التطبيل من الأدوات المستخدمة لدى كثير من أطباء الباطنة والصدر وأطباء الأعصاب الذين يستخدمون التنقير بدلا من التطبيل.

سماعة الطبيب The stethoscope

وهى أداة مساعدة للطبيب فى سماع أصوات تصدر داخل الجسم كما يحدث فى القلب والرئتين.

وتسمى هذه العملية بالتسمع (mediate auscultation or auscultation)، وكانت هذه العملية قديما تتم بالتسمع المباشر على الصدر بالآذن، ثم إستخدمت بعد ذلك أنابيب من مواد كثيرة لأداء الغرض.

والسماعة فى شكلها الحالى تتكون من جرس bell قد يكون مفتوح أو مغلق بغشاء رقيق diaphragm والأذنية (earpies) ويرتبط كل من الجرس والأذنية بأنبوب (tubing).

والجرس تكون ممانعته متلائمة بين الجلد والهواء وبه تجمع الأصوات من مساحة الجلد التى يغطيها، والجلد تحت الجرس المفتوح يعمل كما لو كان غشاء رقيق والغشاء من الجلد له تردد طبيعى يسمى تردد الرنين (Resonating) عنده تنتقل الأصوات والعوامل الخاصة لهذا التردد هى الطول وقوة الشد، وبذلك كلما أردنا سماع الصوت بوضوح فإننا نغير قطر الجرس وكذلك قوة الضغط عليه فى إتجاه الجلد، وبذلك نستطيع سماع ضربات القلب وإن كانت همسات (murmur) وفى حالة الجرس المغلق يكون لغشاءه الرقيق تردد رنينى خاص ومعروف، وتستخدم السماعة التى بها جرس

مغلق فى سماع صوت الرئتين لأن ترددهما أعلى من تردد الصوت الصادر من القلب.

ونظرا لأن الأصوات تنتقل من مصدرها عبر السماعة إلى أذن الطبيب فإنه من المستحسن أن يكون حجم الجرس أقل ما يمكن لتحسين الأداء فى ضوء العوامل الحاكمة من حيث أنه كلما قل الحجم زاد الضغط.

وبفضل أن يكون حجم الأنبوبة التى ينتقل خلالها الصوت من الجرس صغير أى أن طولها ومساحة مقطعها فى أقل بعد منها، إلا أن الصوت المفقود فى جدران الأنبوبة بالاحتكاك يزداد بنقصان نصف قطرها والعكس صحيح وعموما فإنه فى الحالتين تتأثر كفاءة السماعة، وقد وجد أنه تحت 100ذبذبة/ ثانية فإن طول الأنبوبة لا يؤثر على الكفاءة.

والأذنية يجب أن تكون مناسبة للأذن (snugly) حيث أن تسرب الهواء إلى داخل الأذن يقلل الصوت المسموع بالإضافة إلى دخول الأصوات الخارجية إلى الأذن يقلل من كفاءة التسمع ويعطى فرصة لتداخل الأصوات.

الموجات فوق الصوتية ultrasonic waves

يوجد فى الطبيعة مواد صلبة تتفرد بخواص مميزة, فقد وجد أن بلورات الترمالين إذا ما تأثرت بقوى ميكانيكية من ضغط أو الشد فإن شحنات كهربية متساوية ومتضادة تظهر على السطحين المتقابلين الذى وقعت عليهما القوى الميكانيكية ويسمى هذا الأثر بيزو الكهربى (piezoelecric effect)، كما وجد أن هذه البلورات إذا ما ترسبت على سطحيها المتقابلين شحنات كهربية متساوية ومتضادة فإن أبعادها تتغير بالزيادة أو بالنقصان ويصاحب هذه الحركة البندولية إنبعاث موجات ميكانيكية غير مسموعة ولكن يظهر أثرها وتردداتها فى المدى فوق المسموع أى أعلى من 20 كيلو ذبذبة/ ثانية وأنها موجات فوق صوتية.

لذلك إستخدمت هذه المواد كمصدر للموجات الصوتية بوضعها تحت تأثير مجال

كهربى عالى التردد، فتكون الموجات الصادرة منها موجات قصيرة وطاقتها عالية، ونظراً لأن هذه المواد تعمل على تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية لذلك فهى تسمى بالمحولات (transducers). ولكل محول من هذه المحولات تردده الطبيعى الذى يعطى عنده رنينه وكلما كان هذا المحول رقيق فإن تردده الرنينى يكون أعلى.

والمواد المناسبة للاستخدامات الطبية هى التى تعطى تردد رنينى فى المدى (5-1 مليون ذبذبة/ ثانية)، وفى حالة الاستخدام يوضع مصدر الموجات فوق الصوتية على الجلد بمساعدة مادة تزيد إلتصاق المصدر بالجلد كما تساعد سرعة وسهولة إنتقال الموجات من المصدر إلى الجسم وتساعد على إلتقاط الموجات المرتدة من الجسم إلى الكاشف (the echoes back to detector) والكاشف هو نفسه المحول (Tranducer)، وعند إلتقاط المحول الموجات فوق الصوتية المرتدة من الجسم يتولد بين طرفيه فرق جهد متردد تظهر نبضاته على راسم الذبذبات حاملة معها كل خواص المكان الذى تسبب فى إنعكاسها.

وعادة تكون هذه النبضات ضعيفة لذلك يزود الجهاز بمكبر جهد ليكبر النبضات وتظهر على الشاشة مكبرة ويسهل تفسيرها.

وجهاز إكتشاف المواقع (السونار Sonar) من أهم التطبيقات وفيه يتم إرسال موجة صوتية إلى خارجه فإذا إصطدمت بعائق إرتدت إليه وبمعرفة زمن رحلة الذهاب (لحظة الإطلاق) وزمن رحلة العودة (لحظة إستقبال الموجة المرتدة وبمعرفة سرعة الصوت فى الوسط الذى تحركت فيه الموجات ذهاباً وعودة) فإن بعد العائق عن مصدر الصوت يمكن تعينه. وهذا ما يتم فى تحديد مواقع الغواصين أو العوائق للسفن تحت الماء.

وعلى هذا النسق يتتبع الخفاش الموجات المرتدة ليهتدى إلى سبيله وإلى غذائه فى ظلمة الليل.

ويستخدم هذا الجهاز فى الطب بإرسال موجات فوق صوتية إلى داخل الجسم

وإستقبال الموجات المرتدة من الجزء من الجسم المراد دراسته بما يسمى الماسح A (A-scan) وذلك للحصول على معلومات تفيد التشخيص.

وهذا النوع يكون تردده فى المدى (4000-10000ذبذبة/ ثانية).

ونظراً لأن الموجات الفوق صوتية المرسلة إلى الجسم عند عودتها يمتص جزء كبير منها حسب القانون الأسى للإمتصاص فإن الصدى العائد يكون ضعيف ويلزم تكبيره كما أسلفنا حتى تكون النبضة الكهربية التى تنبعث من جراءه واضحة وما عليها من معلومات مفيدة.

والمشكلة الثانية فى إستخدام الموجات فوق الصوتية هى أن قوة فصل الموعوقات المتجاورة والدقيقة يكون صعب, أى أن التضاريس الداخلية المطلوب دراستها يصعب فصل صورها بعضها عن بعض لدقتها، وعموماً فإن التراكيب المختلفة لأجزاء الجسم الداخلية والتى أبعادها تقل عن الطول الموجى المستخدم يصعب فصلها وتفسيرها. ونظراً لأن الطول الموجى والتردد وسرعة الانتشار للموجات الفوق صوتية تربطهم العلاقة:

$$\upsilon = \lambda . f$$

حيث λ الطول الموجى, v سرعة إنتشار الموجات فى الماء, f التردد

فإن الموجات الفوق صوتية كلما كانت أقصر أى ذات تردد عالى يكون قوة فصلها للتراكيب المختلفة الداخلية لأجزاء الجسم تكون أكبر.

وتستخدم الموجات فوق الصوتية لعمل مخطط للمخ (echoencephalo- graphy) لإكتشاف أورام المخ حيث يتم إرسال نبضات الموجات فوق الصوتية من منطقة سمكها رفيع فوق الأذن بقليل ثم إستقبال الصدى من أى مكان على الرأس بعد تكبيره على راسم الذبذبات (CRO)، والطريقة المعتادة هى مقارنة الصدى المستقبل من جهة اليمين مع الصدى المستقبل من جهة اليسار فى

الرأس ونبحث عن إزاحة خط المنتصف وحيث تتجه الإزاحة يكون الورم فى الاتجـاه المضاد، أما إذا كان نصفى الرأس متماثلين والنبضات الناتجة عن الصدى على أبعـاد متماثلة من خط المينتصف فإن الحالة طبية (تكون إزاحة خط المنتصف فى حدود 3-2 مللمتر).

ويجب أن تتجنب الخطأ فى قراءة المخطط وذلك بتسجيل المخطـط مـرتين إحداهما بإرسال النبضات من فوق الأذن اليمنى وإستقبال الصدى من كل مكان ثم تعاد التجربة بإرسال النبضات من فوق الأذن اليسرى وإستقبال النبضات من كـل مكـان ومقارنة النتائج حتى نتحقق من الإزاحة فى نفس الجهة مهما تغيـر مكـان إرسـال النبضات وأن مقدار الإزاحة بين 3-2 ملليمتر.

كما يجب مراعاة أن الرأس متماثل حول المحور خوفاً من التشخيص الخطأ.

ويـستخدم الماسـح A (A-scan) فى أمـراض العيـون (ophthalmology) لهـدفيـن:

1. الحصول على معلومات تفيد فى تشخيص علاج العين.
2. معلومات تفيد فى قياسات أبعاد العين.

وتستخدم الموجات فوق الصوتية ذات التردد العالى لتحقق قوة فصل مناسبة والآن يستخدم الماسح B (B-scan) حيث نحصل على صورة فى بعدين علـى الـشاشة أو تطبع الصورة إذا لزم الأمر، وبذلك نحصل على معلومات دقيقة عن تراكيب الجـسم الداخلية وأجزاءه مثل الصدر، الكبد، الطحال، الكلى، القلب والأجنـة فـى مراحلهـا المختلفة إعتبارا من الأسبوع الخامس وحتى الولادة، كما تحقق الموجات فوق صوتية قدر من الآمان إذ ليس لها أعراض جانبية مثل الأشعة السينية فى المدى المسموح به.

كل هذه المعلومات الآن تخزن فى ذاكرة الحاسب حيث أن جميع وحدات الماسح B مزودة بحاسب وتعطى صورة تراكيب الجسم بالألوان ليسهل المقارنة والتشخيص.

الآثار المحدثة بالموجات فوق الصوتية للعلاج

Effects of Ultrasound in Therapy

آثار عديدة تحدثها الموجات فوق الصوتية أثناء العلاج، وهذه الآثار تحدث أثاراً فسيولوجية (physiological) تعتمد على تردد الموجات فوق الصوتية، وفى حالة إستخدام موجات فوق صوتية شدتها ضعيفة $\left(20\varpi/cm^2 - 0.01\varpi/cm^2\right)$ لا يوجد لها أية آثار ضارة.

وأول الآثار الناتجة هو إرتفاع درجة حرارة الأنسجة المعنية وإحداث تباين فى الضغط، وذلك ناتج من إمتصاص الأنسجة للموجات الساقطة عليها، إلا أن الارتفاع فى درجة حرارة الأنسجة يكون عند السطح يخزن بالكم الأكبر فى عمق الأنسجة ولذلك يكون الأثر الأكبر فى العظام والمفاصل (الروابط).

وعند تعرض الأنسجة للموجات الفوق صوتية فإنها تحدث فيها مناطق إضطراب حيث يتضاغط بعضها ويتخلخل بعضها زيادة فى الضغط فى مناطق وتناقص فى الضغط فى مناطق أخرى وذلك يحدث فى مناطق متجاورة من الأنسجة، وهذا يؤدى إلى تمدد بعض الأجزاء، فإذا ما وصل هذا التمدد إلى الحد الغير مرن فإن هذا الجزء يتمزق(tears)، وهذا هو السبب فى الخوف على طبلة الأذن من الموجات الصوتية البالغة الشدة (فى العلاج الطبيعى تكون الشدة $1-10\varpi/cm^2$ وبتردد فى حدود مليون ذبذبة/ ثانية) وشدة الموجات الفوق صوتية ترتبط بالتغير فى الضغط **بالعلاقة:**

$$I = p^2/2Z$$

حيث P هو أقصى تغير فى الضغط, Z هو ممانعة الموجات الصوتية للموجات التى شدتها I.

وقد وجد أن أقصى تغير فى الضغط للتردد المذكور هو 5 جوى فى خلال مسافة قدرها نصف موجة $(\lambda/2 = 0.7nm)$أى أنه تغير كبير فى مسافة صغيرة جداً،

بإستخدام ترددات أعلى من ذلك فإن الطاقة العالية تصل إلى جزئيات الأنسجة بسرعة كبيرة، وبذلك تكتسب الحبيبات طاقة كبيرة بحيث تتكسر الروابط الكيميائية بينها حتى وإن كان الشعاع المستخدم من موجات الفوق صوتية عال الشدة بدرجة كبيرة فإنه يحول الماء إلى هيدروجين (H_2) وفوق أكسيد الهيدروجين (H_2O2) وتسبب تمزيق جزيئات الـ DNA, ويكون كل ذلك بسبب إحداث تغير فى زيادة الضغط الذى قد يصل إلى عشر أمثال قيمته الجوية.

من الجانب الآخر فى المناطق التى يحدث فيها تخلخل من الأنسجة حيث يقل الضغط إلى حد أن يكون ضغط سالب فإن الغازات تذوب وتخرج على شكل فقاقيع، وتسمى هذه الفقاقيع بالحويصلات (Cavitation) وهى التى تكسر الروابط بين الغازات والأنسجة وعند تكسر هذه الفقاقيع مرة أخرى يتولد منها طاقة تكسر روابط أخرى جديدة، وقد يؤدى إلى عملية أكسدة (إحتراق). وهذا يتم بإستخدام موجات فوق صوتية شدتها عالية $(10^3 \varpi / cm^2)$ جيدة التصويب لتصل إلى عمق لإقتلاع شئ ضار من الجسم.

النطق بالكلام production of speech

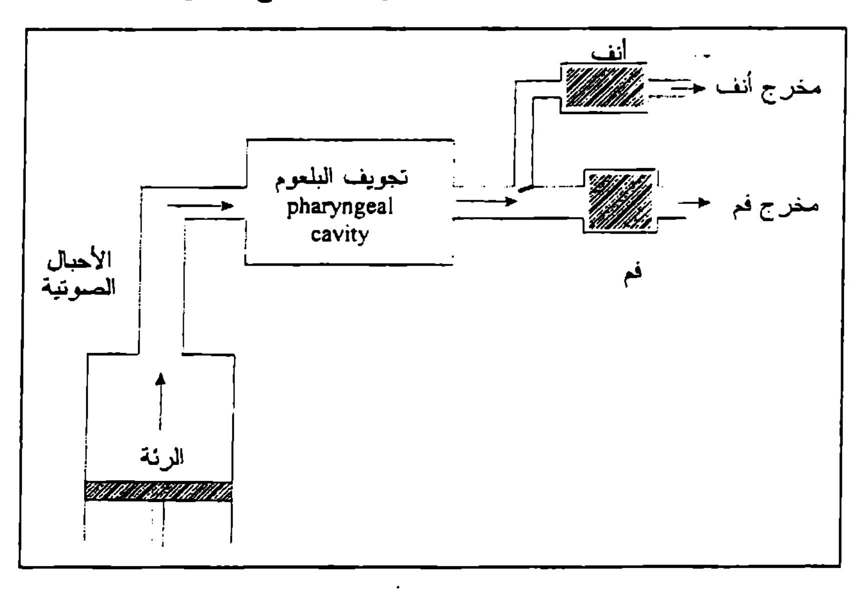
الصوت المسموع من الكلام يحدث بتهدئة الهواء الخارج من الرئتين، ويحدث هذا بمرور الهواء من الرئة على الأحبال الصوتية vocal folds (cords) ثم على فراغات عديدة ثم إلى الخارج عبر الفم وفى أحيان قليلة عبر الأنف، والذى يحدث بهذا الشكل يسمى بالصوت الحنجرى (sound voiced) وبعض الأصوات تتشكل فى الفم وهذه تسمى بأصوات غير حنجرية (unvoiced sounds) وتتشكل فقط من خلال حركة الشفاه, الأسنان واللسان وسقف الحنك.

والمسار الصوتى الحنجرى يبدأ بدفع الهواء من الرئة ليمر على الأحبال الصوتية حيث يبدأ تشكيل الكلام (ذبذبات الأحبال الصوتية) ثم يمر بعد ذلك على غرف تشكل الكلام وتطوره وتحسنه وتصفيته وتخرجه عبر المخارج. والأحبال الصوتية موجودة

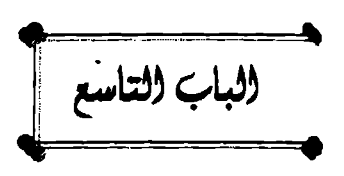
فى القصبة الهوائية عند الزور (larynx) عند تفاحة آدم (Adam's apple)، وعند عملية التنفس (الشهيق) تتباعد الأحبال الصوتية حيث تتكون فتحة واسعة مثلثية)، وعند إحداث الكلام تتقارب الأحبال الصوتية بفعل العضلات ويندفع الهواء من الرئتين خارجاً فى عملية الزفير حيث يرتفع الضغط أسفل الأحبال الصوتية المتلاصقة ويجبرها على إنفراج بسيط فيندفع الهواء خلال الفتحة الصغيرة سريعاً إلى الأعلى (حسب معادلة الاستمرار) ويقل الضغط أسفل الأحبال نتيجة لذلك ونقص الضغط هذا بالإضافة إلى مرونة الأنسجة يؤدى إلى حركة الحبال الصوتية معاً مما يقلل مرور الهواء وتقليل سرعته، هذه العملية بدورها تؤدى إلى زيادة الضغط تحت الأحبال الصوتية مرة أخرى وتبدأ العملية من جديد، ويعتمد التردد الذى يحدث فى الأحبال الصوتية على كتلتها وقوة شدها بإعتبار أن طولها ثابت للشخص الواحد (عوامل حاكمة فى الأوتار المتحركة)، والرجال تكون أطوال وكتلة الأحبال الصوتية لديهم أكبر من النساء والتردد الأساسى للأحبال الصوتية لديهم فى حدود 125 ذبذبة/ ثانية أما فى السيدات فيكون 250 ذبذبة/ ثانية، والصوت يمر بعد ذلك على عدة غرف صوتية هى الزور (throat of pharyngeal) والفم (oral) أو الأنف (nasal)، والزور والأنف لا يغيران من الصوت كثيراً إلا أن إستسقاء الأنسجة بهم (swelling) قد يغير التراكيب الداخلية لهم فيحدث تغير فى الصوت، ولكن عند مرور الصوت فى تجويف الفم فإن تغير كثير يحدث للصوت بحركة اللسان، الأسنان والشفاه وسقف الحنك والفك وذلك ليخرج الكلام بالشكل الذى تريده حيث يُعبر عن فكرة فى داخل المخ والصوت يظهرها ويوضحها، حيث يتم التبادل بين المتحدثين فى الفكر بواسطة الصوت.

والكلام هذا يحتاج طاقة وبذل شغل وقد وجد أن أبسط الجمل تحتاج إلى طاقة قدرها 3.5×10^{-5}جول وهذا القدر القليل من الطاقة يحدث فى زمن قدره ثانيتين، والقدر اللازم لإخراج هذه الجملة فى حدود 15 ميكررات، والإنسان المحب للكلام إذا تكلم لمدة عام بشكل مستمر لا يفقد من الطاقة قدر ما يفقده موقد لغليان كوب شاى، والأذن لفرط حساسيتها تسمع الأصوات شديدة الخفوت والأصوات الخافتة هذه تحتاج

قدرة كبيرة عند الكلام العادى لذلك تسمع بسهولة، الشكل (8-1) يوضح مسار الصوت الحنجرى أو الصوت المزمارى glottal sound فى نموذج تخيلى.



شكل (8-1)



فيزياء الأذن والسمع

Physics of the ear and hearing

الباب التاسع

فيزيـــاء الأذن والسمــــع

Physics of the ear and hearing

مقـــدمـــة

السمع والكلام وسائل التواصل، والأذن حساسة جداً حيث تسمع موجات صـــوتية ضعيفة جداً, ويخدم الأذن فى عملية السمع العناصر الآتية:

1. النظام الميكانيكى الذى يؤثر على الخلايا الشعيرية فى قوقعة الأذن.
2. المجسات العصبية (sensors) التى تعطى جهد الحدث (action potential) فـــى العصب السمعى (auditory nerves).
3. المركز السمعى (auditory cortex) الذى يستقبل النبضات السمعية من العـــصب السمعى ويفسرها فى المخ.

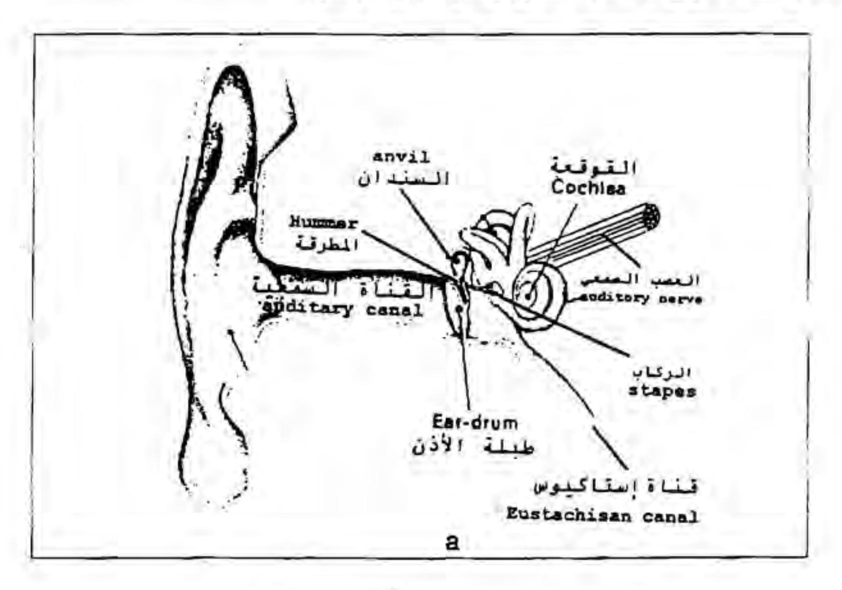
وفقدان أى عنصر من العناصر السابقة لمهمته يحدث الصمم.

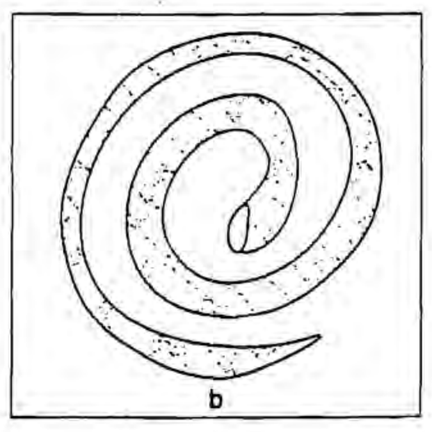
والأذن مصممة بدقة فائقة لتحول كل الذبذبات الميكانيكية مهما كانت ضعيفة إلى نبضات كهربية تسرى فى العصب السمعى، **وتنقسم إلى ثلاثة آذان:**

1. الأذن الخارجية outer ear

وهى تتكون من الصوان (pinna) والقناة الـــسمعية (auditory canal) وفـــى نهايتها من الداخل طبلـــة الأذن (ear drum or tympanic membrane)، والقنـــاة السمعية طولها 2.5 سم وقطرها أقل من 1سم وتعمل عمل أنبوبة مغلقة مـــن طـــرف واحد وبالتالى يكون عمود الهواء المهتز عند تردده الأساسى طوله ربع طول الموجة الصوتية $\left(L = \lambda/4\right)$ وبالتالى يكون تردده الأساســـى $\left(f = v/4L\right)$. حيـــث v ســـرعة

الصوت فى الهواء, L طول القناة السمعية, f التردد الأساسى. وطبلة الأذن مـ ساحة مقطعها 65مم^2 وسمكها 0.1 مم ومهمتها توصيل الذبذبات الناتجة عن الموجات الصوتية من جانبها الخارجى فى الأذن الخارجية إلى جانبها الداخلى فى الأذن الوسطى. وتتراوح سعة ذبذبة طبلة الأذن من 10^{-3} إلى 10^{-9} مم وذلك عندما يتغير التردد من 20 إلى 3500 ذبذبة فى الثانية، وإذا زاد ضغط الموجات الصوتية على طبلة الأذن فقد تتمزق إلا أنها تشفى وتعود إلى مهمتها.





شكل (7-1)

2. الأذن الوسطى the middle ear

تتكون من ثلاث قطع عظمية (ossicles) صغيرة وجميعها يكتمل نموها قبل الولادة حيث يسمع-الجنين وهو فى المشيمة وتكون أولها على شكل مطرقة (malleus or hammer) والوسطى السندان (incus or anvil) والثالثة الركاب (stapes or stirrup) ومهمتها نقل الذبذبات الصوتية من طبلة الأذن إلى الأذن الداخلية مهما كانت ضعيفة والضغط الناشئ من طبلة الأذن على مطرقة يكبر بواسطة هذه العظيمات عند دخول الذبذبات إلى الأذن الداخلية من الفتحة البيضاوية (oval window) وذلك لكونها تعمل عمل رافعة من جانب ومن الجانب الأخر فإن قوة ذبذبات طبلة الأذن تعطى ضغطاً صغيراً لكون مساحتها كبيرة (65 مم^2) وهذه الذبذبات تنتقل من المطرقة إلى السندان ثم إلى الركاب الذى يضغط على غشاء الفتحة البيضاوية بقوة تحدث ضغطاً كبيراً لصغر المساحة التى يضغط عليها الركاب، ومرونة طبلة الأذن تساعد على ذلك حيث تقلل الممانعة فى المدى الترددى 500 إلى 5000ذبذبة فى الثانية، وهذه العظيمات لها دور فى حماية الأذن من الآثار السيئة للأصوات العالية وذلك بإمتصاصها فى هيكلها وروابطها المرنة، وتتصل بالأذن الوسطى أنبوبة ضيقة تسمى قناة إستاكيوس تصلها بالبلعوم وتعمل على مساواة الضغط على جانبى طبلة الأذن ويسبب إمتصاص الهواء فى أنسجة الأذن الوسطى إنخفاض الضغط على طبلة الأذن من الداخل إلا أن حركة عضلات الوجه أثناء البلع والتثاؤب والمضغ تؤدى إلى فتح قناة إستاكيوس (Eustachisan tube) ومن ثم يتعادل الضغط مرة أخرى على جانبى طبلة الأذن والفرق فى الضغط الذى يحدث أثناء الصعود إلى جبل أو الصعود فى مصعد أو ركوب طائرة يسبب الألم وينصح بفتح الفم أثناء ذلك، وإذا حدث وأغلقت فتحة إستاكيوس لأى سبب فيجب إتخاذ التدابير اللازمة للعلاج.

3. الأذن الداخلية The inner ear

الأذن الداخلية فى وضع آمن لوجودها داخل عظام الجمجمة، وهى تتكون من قوقعة صغيرة حلزونية مملوءة بسائل، وتتصل بالأذن الوسطى بإلتصاق غشاء الفتحة البيضاوية مع الركاب، والقوقعة تتصل بالمخ بواسطة العصب السمعى

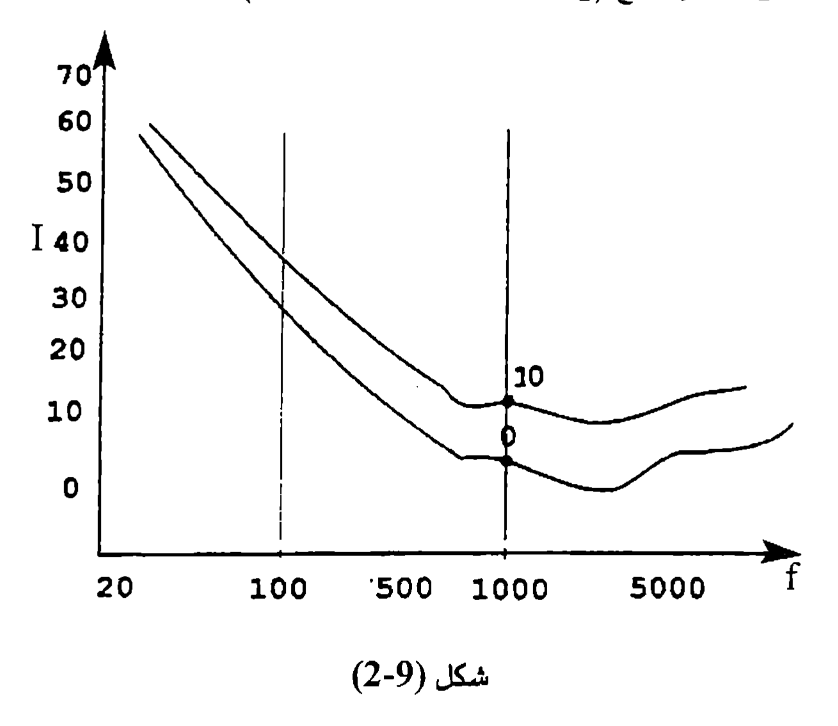
(auditory nerve) وهذا العصب يكون من حزمة عصبية فيها 8000 محور عصبى توصل النبضات الكهربية إلى مركز السمع فى المخ (auditory cortex) وحجم القوقعة تقريبا فى حدود حجم طرف الإصبع الصغير فى اليد وعند بسط القوقعة على إستقامة واحدة يكون طولها فى حدود 3 سم.

فيزياء السمع physics of hearing

الحركة التذبذبية للركاب (stapes) تنتقل إلى السائل داخل القوقعة (cochlea) من خلال غشاء الفتحة البيضاوية (oval window) الذى بدوره يُثير الخلايا الشعرية المتصلة بنهاية العصب السمعى (auditory nerve) أو بالعصب اللحائى (the organ of cortex) والنبضات الكهربية المتولدة فى هذه العملية تنتقل إلى المخ حيث يحدث الإحساس بالسمع.

وإنتقال الذبذبات الصوتية من الأذن الخارجية إلى السائل الموجود فى القوقعة cochlear fluid يصاحبه تكبير فى الضغط كما ذكرنا فى الأذن الوسطى الذى يؤثر على الغشاء ثم ينتشر على طول غشاء مبطن لقاعدة القوقعة وسمكه رقيق عند التحامه مع غشاء الفتحة البيضاوية (oval window) ويزداد سمكه كلما بعدنا عن ذلك، والجزء الرقيق منه مسئول عن الإحساس بالذبذبات ذات الترددات العالية وكلما زاد السمك على طول هذا الغشاء كلما إزداد الإحساس بالترددات الأقل فالأقل, أى أن لكل جزء من هذا الغشاء ترددات معينة يستشعرها ولايستجيب لغيرها، وكذلك تكون النبضات الكهربية التى يرسلها العصب السمعى إلى المخ محددة التردد بالموضع الذى تأثر بها فى الغشاء المبطن لقاعدة القوقعة (basilar membrain) وإستجابة الأذن للموجات الصوتية يعتمد على كل من التردد ومستوى شدة الصوت ومثال ذلك الصوت الذى تردده 1000 ذبذبةِ/ ثانية تستقبله الأذن الطبيعية فيقابل مستوى شدة قدره صفر ديسبل (odB) أو $10^{-12}\varpi/cm^2$ ونفس الأذن تستقبل صوت تردده 100 ذبذبة/ ثانية إذا كان مستوى الشدة 37 ديسبل (37Db) $5\times10^{-9}\varpi/cm^2$ والشكل (2-9) يوضح

العلاقة بين مستوى شدة الصوت والتردد الذى يكاد يسمع (barely audible) فيما يسمى بمنحنى حد الإسماع (curve Threshold hearing).



شكل (9-2)

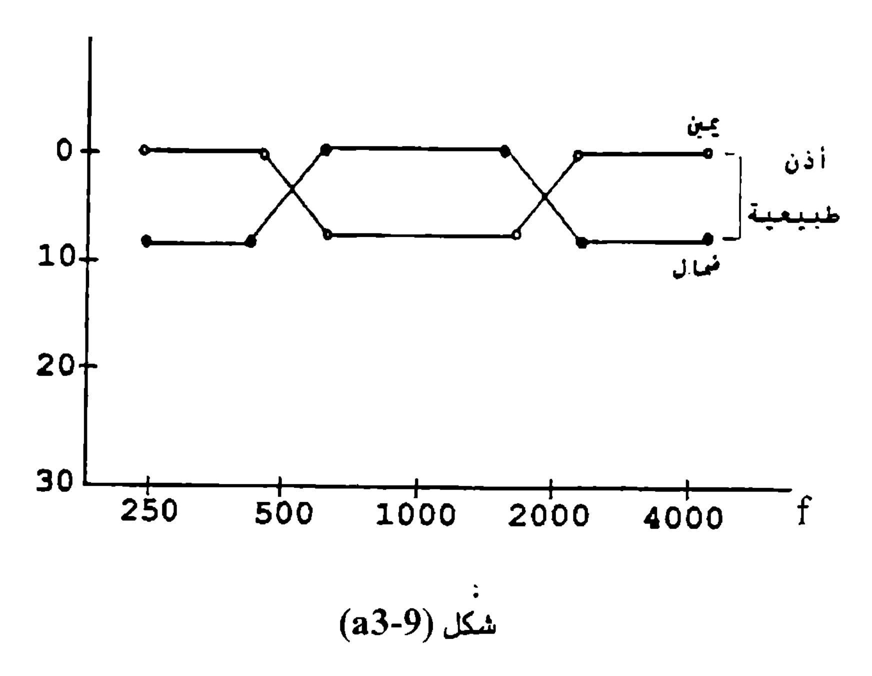
كما أنه يبين العلاقة بين مستوى شدة الصوت ودرجة إرتفاع الصوت loudness level، مثال ذلك إذا كان المستمعين لصوت تردده 1000 ذبذبة/ ثانية بشدة قدرها 10ديسبل بدرجة إرتفاع صوت معينة فإنهم يستمعون إلى صوت تردده 100 ذبذبة/ ثانية بنفس درجة إرتفاع الصوت ولكن بمستوى شدة صوت قدرها 37 ديسبل مثلا، ويشعرون بنفس الإحساس.

إختبار السمع Test of hearing

يتم إختبار السمع فى مكان معد لذلك إعداد تماما, كما يجب أن يتم إختبار كل أذن على حده وذلك بإستخدام وحدات سمع دقيقة، ويدرب الشخص فى الإختبار أن يعطى إشارة عند سماعه صوت الإختبار، ويتم إختبار ترددات بين 200 إلى

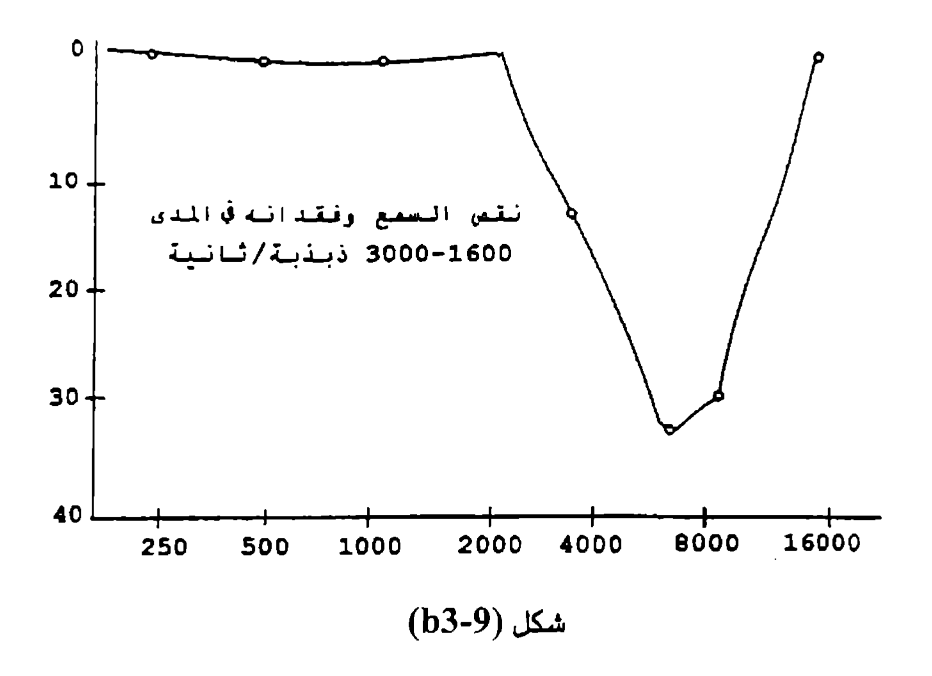
8500 ذبذبة/ثانية وعند كل تردد يجب رفع الصوت وخفضه بشكل تدريجي حتى يحدث الإسماع فى حده الحرج، وتكرر هذه العملية على جميع الترددات المتاحة.

ترسم العلاقة بين الترددات وحد الإسماع الحرج (level hearing threshold) ومقارنتها بمثلها مع تلك فى الظروف الطبيعية، وحد الإسماع الحرج الطبيعى يؤخذ على أن مستوى شدة الصوت صفر ديسبل (odb) شكل (a3-9).



شكل (a3-9)

وشكل (b3-9) يوضح أن الشخص تحت الاختبار يحتاج لعلاج السمع فى المدى الترددى3500 إلى 16000 ذبذبة/ ثانية, وقد يكون سبب ذلك هو أثر مرضى على هذا الجزء من الأعصاب التى تتأثر بهذا المدى من التردد فى الغشاء المبطن لقاعدة القوقعة (basilar membrain of the cochlea).



شكل (b3-9)

الصم ووسائط الإسماع (deafness and hearing aids) :

المحادثات اليومية بين البشر تقع معظمها في المدى الترددي 400 إلى4000ذبذبة/ ثانية وبذلك لا يعتبر أصم كل من إستطاع تبادل الأحاديث في هذا المدى ولو كان أصم فيما حولها من الترددات ولا يعتبر أيضاً في سمعه صعوبة, والأشخاص الذين حدّ إسماعهم الحرج في حدود 30 ديسبل (3odb) أشخاص طبيعيين وليس لديهم مشكلة في السمع، والأشخاص الذين حد إسماعهم الحرج في حدود 90 ديسبل (90dB) هم صم كالحجر (stone deaf) والأشخاص الذين حدهم السمعي الحرج بين 90-50 ديسبل يحتاجون مساعدات سمع ليسمعوا الأصوات العالية ولكن مشاكلهم تكمن في سماع الأصوات المنخفضة وعموماً مشاكل السمع تزداد بتقدم السن. ومستوى شدة الصوت المتوسط حوالي 60 ديسبل (60dB) وتؤثر عليه الضوضاء في الوسط المحيط (يزداد بزيادة الضوضاء وينقص بنقصانها) وبذلك قد يصل مستوى شدة

الصوت إلى 40 ديسبل فى غرفة هادئة وقد يصل إلى 80 ديسبل (80dB) فى مكان به ضوضاء عالية.

والأشخاص الذين يعانون صمم عند حزمة ترددية معينة يسمعون أصوات خافتة جداً فيما حولها ولا يسمعون عندها ولو كانت أصوات صاخبة.

وهناك نوعين من قليلى السمع (reduced hearing) :

1. عدم وصول الإسماع Conduction hearing loss:

وفى هذا النوع لا تصل الذبذبات الصوتية إلى الأذن الداخلية وقد يكون السبب إنسداد القناة السمعية بكتلة شمعية ملتصقة بطبلة الأذن فتؤثر على مرونتها، أو قد يكون السبب تغير فى عامل اللزوجة فى السائل فى الأذن الوسطى لأى سبب أو تيبس العظيمات الصغيرة (ossicles) فى الأذن الوسطى أو أحدهما، وجميع هذه الأسباب ممكن علاجها أو إجراء جراحة لعلاجها, وحتى فى حالة عدم جدوى العلاج فإنه يمكن إستخدام مساعدات الإسماع لنقل الأصوات عبر الجمجمة إلى الأذن الداخلية.

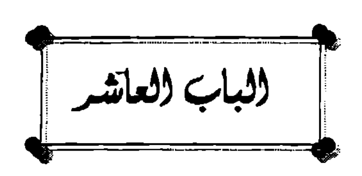
2. فقدان العصب السمعى Nerve hearing loss

وفى هذه الحالة يصل الصوت إلى الأذن الداخلية ولكن لا يعطى العصب السمعى أية نبضات (no nerve signals) إلى المخ, وقد يحدث هذا الحزمة ترددية او حزمتين أو أكثر أو لكل الترددات. ومساعدات الإسماع كثيرة من بينها لغة الشفاه (lip-read) وهى مراقبة حركة الشفاه والوجه للتعرف على نوع الحديث الدائر قدر الإمكان، وكذلك يعتبر من مساعدات الإسماع وضع اليد خلف الأذن لزيادة مقدار ما يتجمع من أصوات داخل صيوان الأذن وهذه الطريقة تزيد مستوى شدة الصوت بمقدار 7 ديسبل (7dB) فضلاً عما يحدث من إستجابة المتحدث لرؤية الفعل فيرفع صوته بما يساوى 10 ديسبل (10dB)، ويعتبر البوق من أول مساعدات الإسماع الصناعية حيث يجمع طرفه المتسع الموجات الصوتية ويركزها على القناة السمعية من الطرف الآخر

وهو يساعد على خفض مستوى شدة الصوت فيما يساوى 12 ديسبل (12dB)، وهـذه الأداة غير شائعة لكون الإنسان لديه رغبة فى إخفاء عيوبه ومن بينها قلـة السـمع أو فقدانه (handicaps).

ومساعدات الإسماع الإلكترونية متوفرة فى هذه الأيام وقد أصـبحت فـى حجـم صغير ويمكن وضعها خلف الأذن أو حتى تخبأ فى الشعر فيفيد ولا يؤذى.

والسماعة الإلكترونية تتكون من لاقط دقيق للأصوات (microphone) ومكبـر لزيادة طاقة الصوت (amplifier) ومحدث (loudspeaker) ليوصل الأصوات التى رفعت طاقتها إلى الأذن، وبذلك يمكن الحصول على مستوى شدة فى حدود 90 ديسبل أو أكثر، وقد تم التوصل إلى أجهزة ترفع إلى حدود أكبر من ذلك الأمر الذى يجعـل إمكانية الإسماع لشريحة كانت تعد من الصم ممكن مادام العصب السمعى فـى حالـة طبيعية، ومساعدات الإسماع لا تعيد السمع إلى حالته الطبيعية ولكنها تـساعد فقـط. ومعظم هذه المساعدات يمكن ضبطها بحيث تمكن مستخدمها من ضبطها عند التـردد المناسب إلا أن المدى الذى تتغير فيه محدود ولابد من تشخيص المدى المراد المساعدة من خلاله بواسطة المعالج.



فيزياء الجهاز الدورى

Physics of the cardiovascular system

الباب العاشر

فيـــزيـــاء الجهـــاز الـــدورى

Physics of the cardiovascular system

مقـــدمـــة

الجهاز الدورى هو الجهاز الذى ينقل للجسم إحتياجاتـــه مـــن الطعـــام (الوقـــود) والأكسجين من كل من الجهاز الهضمى والجهاز التنفسى ويصلها إلى خلايـــا الجـــسم حسب إحتياجاتها، ويقوم أيضاً بنقل مخرجات الجسم إلى حيث يتم الإخـــراج، والـــدم يكوّن حوالى (8%) من كتلة الجسم (فى حدود 5 كجم لجسم يبلـــغ وزنـــه 65 كيلـــو جرام)، والأوعية الدموية مع القلب تكون الجهاز الدورى (cardiovascular system (cvs))، ولذلك فإن أول عضو ينمو فى الجنين هو القلب حيث يبدأ عمله بعد الأسبوع الثامن من بداية الحمل ويضخ الدم إلى جميع الأنسجة المتكونة فى الجنين، وفى هـــذه الفترة يحصل الجنين على إحتياجاته من الأكسجين من الأم عن طريق الحبل الـــسرى حيث لا يصل إلى رئتى الجنين إلا حوالى 10% من الدم، وبعد الولادة يبدأ الدم الداخل للرئتين فى الزيادة، وإذا حدث أن الدم كان غير مؤكسد بشكل غير كاف فإن الرضـــيع يكون لونه أزرق (blue baby)، وكثيراً من تخصصات الطب يكـــون لـــه رأى فـــى قضايا الجهاز الدورى، مثل أطباء القلب، وأطباء الباطنية والمسالك البولية والكلى.

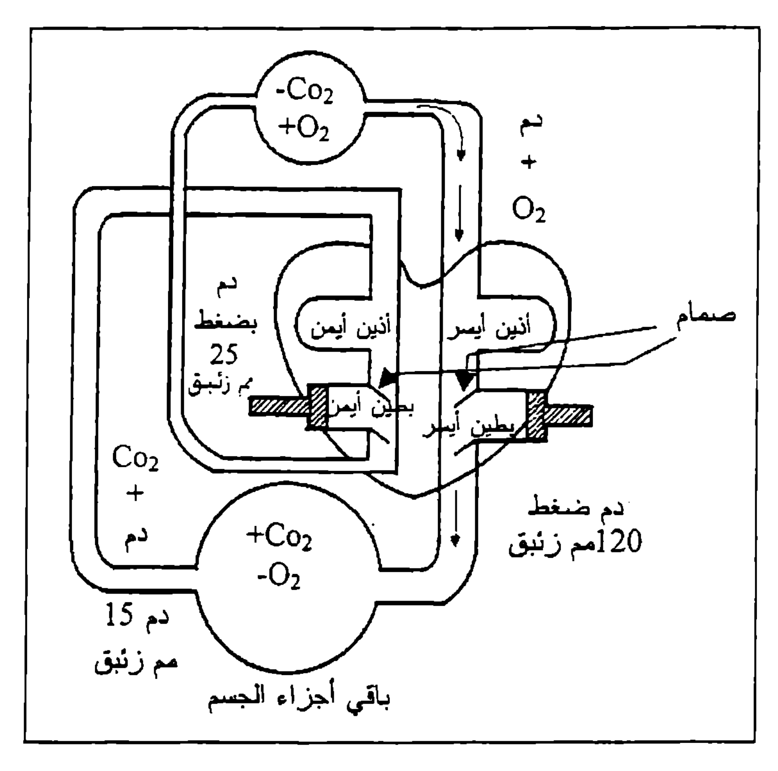
والقلب عبارة عن مضختين (double pump) لإعطاء القوة اللازمة لتدوير الدم فى دورتى الدم الرئيسية فى كل من الرئتين وباقى أجزاء الجسم، ويـــدور الـــدم فـــى الرئتين بواسطة القلب قبل أن يبدأ النصف الثانى فى ضخ الدم إلى باقى أجزاء الجسم.

ويضخ الدم من القلب بعد إنقباض عضلة من البطين الأيسر بضغط قدره 120 مم زئبق إلى الشريان الذى ينقسم إلى شرايين أدق فأدق وأدق (arterioles) ثم فى النهاية إلى شعيرات دقيقة جداً عبارة عن شبكة (mesh work) من الشعيرات الدموية تسمى ضفيرة شعرية (capillary bed)، وبذلك يصل الدم من القلب إلى هذه الضفيرة الشعرية فى ثوان قليلة حيث يمد الخلايا بالأكسجين (O_2) ويأخذ منها ثانى أكسيد الكربون (CO_2). وبعد أن يحمل الدم بثانى أكسيد الكربون يتجمع الدم فى أوردة دقيقة (small veins (venules)) التى تتحد لتكون أوردة أكبر فأكبر قبل أن تدخل الجانب الأيمن من القلب من خلال الأوردة الرئيسية، الوريد الأجوف والوريد البابى، والدم الوارد من الجسم يخزن فى الأذين الأيمن لحظياً (right atrium) ثم ينقبض ويضغطها فى حدود 5 مم زئبق ليسرى إلى البطين الأيمن (right ventricle) الذى ينقبض لدفع هذا الدم إلى الرئتين بضغط قدره 25 مم زئبق، حيث يصل إلى الشعيرات الدموية على سطح الحويصلات الهوائية فى الرئتين ويتم التخلص من ثانى أكسيد الكربون ثم يحمل الدم الأكسجين والدم المحمل بالأكسجين ينتقل خلال الأوردة الرئيسية من الرئتين إلى الأذين الأيسر وبضغط قدره 8 مم زئبق فينتقل الدم إلى البطين الأيسر الذى يدفعه بضغط قدره 120 مم زئبق للجسم مرة أخرى.

والدم يندفع فى قبضة واحدة من نقطة إلى أخرى (أذين، بطين...) يكون حجمه فى حدود 80 مللى لتر، وجملة حجم الدم فى الجسم فى حدود 5 لتر فإن دورة الدم من البطين الأيسر إلى نفس البطين تستغرق حوالى دقيقة واحدة وصمامات القلب معدة بحيث يسرى الدم فى إتجاه واحد، فإذا حدث خلل فى الصمامات من حيث عدم الإغلاق أو الفتح أو الغلق الجزئى فإن مقدرة القلب تقل والتقدم التقنى سهل مهمة جراحى القلب فى عمل ما يلزم من صيانة لتعود الأمور إلى نصابها أو قريب من ذلك.

وقد أثبتت الإحصاءات أنه فى أية لحظة يكون الدم منقسم بحيث يكون 20% منه فى الرئتين، 80% منه فى باقى أجزاء الجسم، والقسم الذى فى الجسم يكون 15%منه فى الشرايين، 10% فى الضفيرة الشعرية، 75% فى الأوردة، والقسم الذى توجه إلى

الرئتين يكون 7% فى الشعيرات الدموية على سطح الحويصلات الهوائية، 93% منه منقسم بين الشرايين المغذية للرئتين والأوردة القادمة منها وشكل (10-1) يوضح نموذج تخيلى للجهاز الدورى.



شكل (10-1)

والدم العائد من الجسم إلى القلب يكون خالى بقدر كبير من الأكسجين ولذلك يكون لونه أبيض محمر (bright red) فى الأوردة وسبب زرقته فى ظهر اليد واليد يرجع إلى كرمشة الجلد وتغير لون دم النزيف يرجع إلى أكسدته فى وقت قصير جدا، ومعظم الدم فى الجسم أحمر داكن، والدم يبدو للعين المجردة وكأنه سائل أحمر لزوجته أعلى من الماء والدم فى حقيقة الأمر **يتكون من :**

1. اللون الأحمر ناتج عن كرات الدم الحمراء erythrocytes or red blood cell وعددها حوالى 5 مليون كرة حمراء فى كل 1مم^3.

2. صفائح دموية قطرها 3 ميكرومتر (flat discs) وعددها 300.000 فى $مم^3$.
3. سائل شفاف يسمى بلازم الدم (blood plasma) ومزيج كرات الدم الحمراء وبلازما الدم يعطيان الدم خصائصه فى السريان والتى تختلف عن باقى السوائل مثل الماء.
4. كرات الدم البيضاء (leukocytes or whit blood cells) وهى فى حدود 8000 كرة/ $مم^3$، وهذا العدد يزداد فى بعض الحالات المرضية.

والدم ينقل الهرمونات اللازمة للتحكم فى العمليات الكيميائية فى خلايا الجسم كما ينقل بعض الإلكتروليتات (أيونات المعادن) وعلى سبيل المثال كل 100 مللى لتر دم تحتوى على 10 مجم كالسيوم، وإذا قلت نسبة الكالسيوم عن (8-4) مجم/ 100 ملليلتر فإن الجهاز العصبى لا يؤدى دوره كما ينبغى وقد يموت الجسم بسبب تقلصات العضلات (muscle spasm or tetany).

وفيما سبق كانت خلايا الدم تُعد بوضع نقطة من الدم على شريحة زجاجية وتخفيفها بالماء وتُعد الخلايا تحت ميكروسكوب مناسب وهذه الطريقة غير دقيقة.

والآن نستخدم جهاز بنية فكرته على أن المحلول المخفف من الدم يوضع فى أنبوبة شعرية وتمرر بين قطبين (electrodes) لقياس المقاومة الكهربية لكراة الدم الحمراء أثناء مرورها، والتغير فى المقاومة الكهربية يظهر على شكل نبضة كهربية تُعد فى حينها من خلال دائرة كهربية، وهذه الطريقة تعطى العدد بدقة مناسبة.

الشعيرات الدموية وتبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون

O_2 & CO_2 exchange in the capillary system

يعطى عمق الانتشار للدم فى الأنسجة بالعلاقة $D = \lambda\sqrt{N}$ حيث D عمق الانتشار، N عدد التصادمات، λ المسار الحر المتوسط بين تصادمين، ويكون عمق الانتشار فى الأنسجة أقل بكثير عنه فى الهواء، والشعيرات الدموية فى الضفيرة يكون

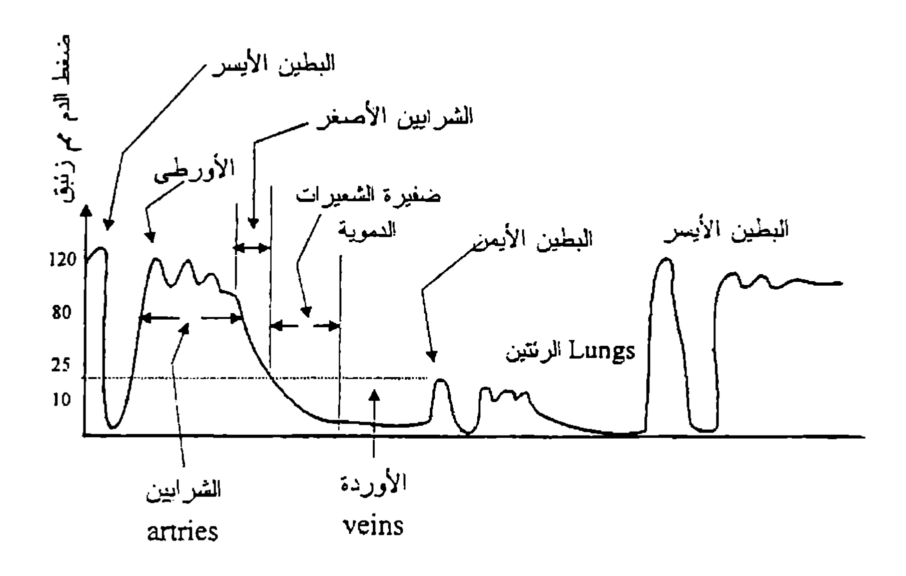
عددها كبير ويبلغ 190 شعيرة/ مم^2 ونصف القطر المتوسط للشعيرات الدموية حوالى 20 ميكرومتر وبذلك تبلغ المساحة السطحية للشعيرات الدموية فى واحد كيلو جرام عضلات حوالى 2-1متر^2، والدم يسرى فى الأنابيب الشعرية (الشعيرات الدموية) تحت تأثير ضغط هيدوستاتيكى يعمل على إخراج الدم من الشعيرات الدموية إلى الوسط المحيط بها والضغط الأسموزى (osmotic pressure) الذى يدخل السوائل إليها، والضغط الهيدرستاتيكى قيمته 30 مم زئبق عند أطراف الشرايين و 15 مم زئبق عند نهاية الأوردة، والضغط الأسموزى قيمته 20 مم زئبق وإذا تغير ضغط الدم فى الشعيرات الدموية يسبب تصادم أو صدمة (trauma) وتزداد السوائل فى الأنسجة المتضررة وتسبب الاستسقاء (swelling or edema).

وبسبب تغير الضغط داخل الشعيرات الدموية وتغير الضغط الأسموزى الخارجى يتم إيصال الأكسجين للأنسجة وتحميل الدم بثانى أكسيد الكربون الذى يفرغه فى الرئة من خلال الشعيرات الدموية فى الحويصلات الهوائية بالرئة ويحمل مرة أخرى بالأكسجين.

الشغل المبذول بواسطة القلب Work done by the heart

يدفع القلب حوالى 80 مللى لتر من الدم إلى الرئة فى كل نبضة من البطين الأيمن ومثلها من البطين الأيسر إلى باقى أجزاء الجسم، وفى هذه العملية يبذل القلب شغلاً، بينما يكون الدم فى جزئى المضخة فى القلب غير متساوى، ففى الرئة والجهاز الرئوى يكون ضغط الدم قليل وذلك لكون مقاومة الأوعية الدموية قليلة ويكون ضغط الدم هذا فى حدود لكون مقاومة الأوعية الدموية قليلة ويكون ضغط الدم هذا فى حدود 25 مم زئبق أى فى حدود خمس ضغط الدم فى دورة الدم الكبرى، وبذلك يكون ضغط الدم الذى يندفع إلى باقى أجزاء الجسم فى دورة الدم الكبرى فى لحظة إنقباض البطين الأيسر 120 مم زئبق وفى حالة إستراحة (diastole) دورة القلب (cardiac cycle) يكون ضغط الدم 80 مم زئبق وقد أعدت جدران البطين الأيسر لتكون قادرة على ذلك

من قوة العضلات اللازمة لدفع الدم فى دورته الكبرى، وهذا الضغط قيمته أكبر ما يمكن عند البطين الأيسر والأورطى ثم يقل فى الشرايين (arteries) والشرايين الأصغر (arterioles) ويقل كذلك فى الشعيرات الدموية المتصلة بالشرايين وتقل قيمته أكثر عند إتصال ضفيرة الشعيرات الدموية بالأوردة ويظل كذلك فى الأوردة ليصل إلى البطين الأيمن الذى يضغط الدم بما يساوى 25 مم زئبق ليدفعه إلى الرئتين حيث يقل قبل دخولها نظراً لأن مقاومة الأوعية الدموية فيهما قليلة ثم يمر بالرئة لأحداث التبادل الغازى بين O_2 & CO_2 بضغط دم لا يتعدى 25 مم زئبق ثم يصل إلى البطين الأيسر بضغط قليل وأقل من 8 مم زئبق، حيث ينقبض البطين الأيسر ويدفع الدم فى دورته الكبرى بضغط 120 مم زئبق وشكل (10-2) يوضع ضغط الدم فى المناطق المختلفة من الجسم والرئتين ومناطق القلب.



شكل (10-2)

ويحسب الشغل الذى يبذله القلب بحاصل ضرب الضغط فى التغير فى حجم الدم المدفع من القلب **بالعلاقة** :

$$w = p\Delta V$$

حيث w الشغل، p قيمة الضغط، ΔV حجم الدم.

فإذا كان الضغط المتوسط للدم100 مم زئبق، أى فى حدود 1.3×10^{5} داين سم$^{-2}$، وأن حجم الدم المتدفع فى كل نبضة هو 80 ميللى لتر (كل ثانية) (معدل النبضات 60 نبضة/ دقيقة) فإن الشغل الذى يبذله القلب فى ثانية **هو:**

$$w = p\Delta V$$

$$= 1.3\times10^{5}\times80$$

$$= 1.04\times10^{7}\,\text{erg}$$

$$= 1.04\,\text{Jaule}$$

$$= 1.0\,\text{watt}$$

وهذه هى القيمة المتوسطة إلا أن قدرة القلب أعلى من ذلك وهى فى حدود عشرة وات، والقدرة اللازمة فى دورة الدم فى الرئتين خمس هذه القيمة.

ضغط الدم وقياسه Blood pressure and its measurement

يستخدم الأسفيجومانومتر فى قياس ضغط الدم (sphygo manometer) ويتكون من سوار الضغط (pressure cuff) ومقياس الضغط (pressure gauge) حيث يوضع على الجزء العلوى من الذراع، وسماعة توضع على الشريان العضدى عند الكوع، ويضغط هواء فى سوار الضغط ليتمدد بسرعة ويصل لضغط كاف لوقف سريان الدم فى هذا الشريان، ثم يسمح للهواء المضغوط بالتخلى تدريجياً (إفراغ الهواء) وعندما يقل الضغط فى سوار الضغط إلى قيمة أقل من القيمة التى تسمح بسماع النبض (systolic blood pressure) فإن الدم يسرى فى الشريان العضدى محدثاً صوت تذبذبات تسمع فى السماعة (stethoscope) ويسمى بصوت k (korotkoff or k.sound) وصوت البداية (onset) يعنى مستوى نبض ضغط الدم (systolic pressure level)، وكلما نقص الضغط فى السوار أكثر كلما أرتفع k

(k.sound) أكثر والنقطة التى ينعدم فيها صوت k أو يتغير تدل على ضغط الانبساط فى الشريان (pressure diastolic) وبذلك يتحدد الحد الأعلى للضغط والحد الأدنى له.

وضغط الدم فى الجسم يختلف من نقطة إلى أخرى كما رأينا فى شكل (2-10) وذلك بسبب قوة جذب الأرض، وقد قيس ضغط الدم لشخص واقف عند قدمه، وعند ذراع مرتفعة وعند رأسه بإستخدام ثلاثة مانومترات ووجد أن مستوى إرتفاع الدم فيها كان حده الأعلى واحد، وأن الضغط الأعلى واقع على القدم وذلك بفعل الجاذبية الأرضية.

$$F = \rho g h$$

حيث h إرتفاع عمود الدم، g التسارع الجذبى للأرض، ρ كثافة الدم، ووجد أن ضغط الدم على الرأس أقل لكون الرأس يقع فى مستوى فوق القلب، وفى حال إستخدام مانومترات مملوءة بالزئبق فإن الارتفاع فى عمود الزئبق يساوى $\frac{1}{13.6}$ من إرتفاع عمود مملوء بالدم، وقد سبق أن عرفنا أن ضغط الدم تختلف قيمته من البطين الأيسر 120 مم زئبق إلى البطين الأيمن 25 مم زئبق وكذلك يوجد فرق فى ضغط الدم بين الشرايين والأوردة والشعيرات الدموية.

وهناك طريقة بسيطة لنرى إختلاف ضغط الدم من نقطة إلى أخرى وكذلك نرى تأثير الجاذبية عليه، فضغط الدم للأوردة على ظهر كف اليد يمكن التعرف عليه عندما تكون اليد مرسلة وفى مستوى أقل إرتفاعاً من مستوى القلب فإن الأوعية الدموية تكون بارزة وظاهرة فإذا ما رفعت اليد إلى أعلى من القلب تختفى الأوردة وكأنها أفرغت من الدم وكأن الضغط بداخلها أصبح صفراً.

ضغط الدم على جدران الأوعية الدموية

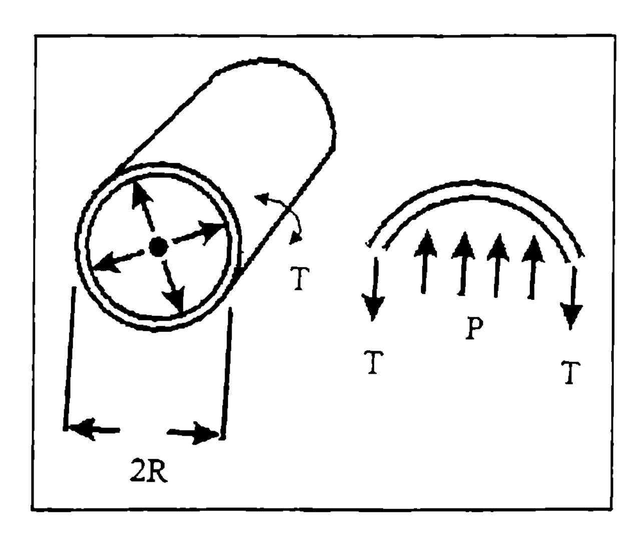
pressure across the blood vessel wall (transmural pressure)

كما رأينا فى الشكل(2-10) فإن أقل قيم لضغط الدم فى الجهاز الدورى وجدت فى الشرايين الصغيرة وضفيرة الشعيرات الدموية، والشعيرات الدموية جدرانها رقيقة جدا وفى حدود واحد ميكرمتر $\left(1\times10^{-6}\,m\right)$ وبذلك تسمح بإنتشار الأكسجين وثانى أكسيد الكربون منها وإليها.

فإذا فرض أن لدينا شعيرة دموية نصف قطرها R والضغط داخلها يساوى P على جميع نقاط السطح الداخلى لجدار الشعيرة أى أن الضغط متساوى، فإذا فرض أن الشعيرة قسمت إلى نصفين شكل (3-10) فإن ضغط الدم من الداخل من أسفل إلى أعلا يساوى 2RP على وحدة الأطوال، وقوة الشد فى سطح الشعيرة الدموية اللازمة للصق النصفين معا والتى تعمل إلى أسفل فى النصف العلوى 2T ونظرا لأن الشعيرة الدموية لم تنفجر ولم تنقبض فإنها فى حالة إتزان تحت **القوتين** أى أن :

$2T=2RP$

$T=RP$



شكل (3-10)

وبذلك يكون الضغط على جدران الوعاء يعطى **بالعلاقة** :

$$P=T/R$$

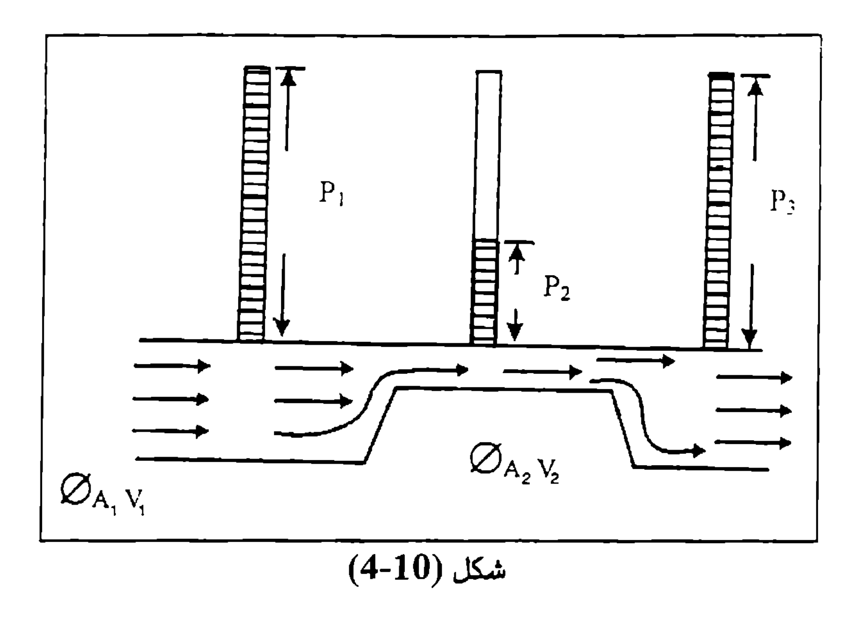
وقد وجد أن الشد على جدران الأورطى فى حدود 150.000 داين/ سم والشد على جدران الشعيرات الدموية 25 داين/ سم، وهذا الشد هو الذى يحول دون إنفجار الشعيرات الدموية، وهو يزيد بزيادة نصف القطر ويقل بنقصان نصف القطر.

تطبيق قاعدة برنولى على الجهاز الدورى

Bernoull's principle applied to the cardiovascular system

تعتمد قاعدة برنولى على تطبيق قانون بقاء الطاقة (conservation of energy) حيث أن ضغط الموائع صورة من صور طاقة للوضع ((potential energy (PE)) وبها يؤدى الشغل.

والمائع المتحرك تكون له طاقة حركة ((KE) kinetic energy)، وإذا تحرك المائع fluid (سائل أو غاز) فى أنبوبة ليس بها إحتكاك فإن سرعة المائع تزداد فى الأجزاء من الأنبوبة ذات المقطع الضيق وتقل فى المناطق ذات المقطع الواسع، ونتيجة لذلك فأنه فى المناطق التى تزداد فيها السرعة تزداد تبعاً لها طاقة الحركة على حساب نقصان طاقة للوضع فى ذات الموقع أو المكان والذى يؤكد ذلك نقصان الضغط فى ذات الجزء من الأنبوبة، وعندما يتسع المقطع مرة أخرى وتقل السرعة تقل تبعاً لها طاقة الحركة وتزداد طاقة للوضع ويزداد الضغط والشكل (4-10) يوضح ذلك. ومعادلة الاستمرارية (contenuty equation) تدل على أن كمية المائع المسارة فى الأنبوبة فى وحدة الزمن ثابتة بحيث يكون $A_1v_1 = A_2v_2$ حيث A_1 مساحة مقطع الأنبوبة الكبير، A_2 مساحة مقطع الأنبوبة الضيق، v_1 سرعة المائع البطيئة، v_2 سرعة المائع العالية، الأمر الذى يؤكد أن كمية المائع المتحركة فى وحدة الزمن ثابته والذى يتغير هى السرعة ومساحة المقطع إلا أن حاصل ضربهما يظل ثابت.



شكل (4-10)

والأوعية الدموية أنابيب تنطبق عليها معادلة التتابع أو الاستمرارية بحيث تكون سرعة الدم عند خروجه من القلب فى الأورطى أكبر ما يمكن 30 سم/ ثانية ونظرا لأن الشريان يتفرع إلى شرايين كثيرة ثم إلى شرايين كثيرة أخرى أدق ثم إلى شعيرات دموية عددها فى حدود 190 شعرية فى كل مم^2 فإن مساحة المقطع الكلية لمجموع ملايين الشعيرات الدموية تكون أكبر بكثير جدا من مساحة مقطع شريان الأورطى فى بداية الدورة الدموية الرئيسية الأمر الذى يقلل سرعة الدم إلى أن تصل إلى 2 سم/ ثانية فى ضفيرة الشعيرات الدموية الأمر الذى يعطى فسحة من الوقت ليتم تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة سواء الدورة الرئيسية وفى دورة الرئتين.

ويمكن حساب طاقة الحركة للدم عند خروجه من الأورطى إذا أخذنا فى الاعتبار حركة واحد جرام من الدم وفى هذه الحالة **فإن طاقة الحركة (KE)** :

$$K.E = \frac{1}{2} mv^2$$

حيث m كتلة الدم وهى واحد جرام، v سرعة الدم عند خروجه من الأورطى هى 30 سم/ ثانية.

$$\therefore \text{K.E} = \frac{1}{2} \times 1 \times (30)^2 = 450\text{ergs}$$

بينما طاقة الحركة لنفس القدر من الدم فى الشعيرات الدموية:

$$\text{K.E} = \frac{1}{2}\text{mv}^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times (2)^2 = 2\text{ergs}$$

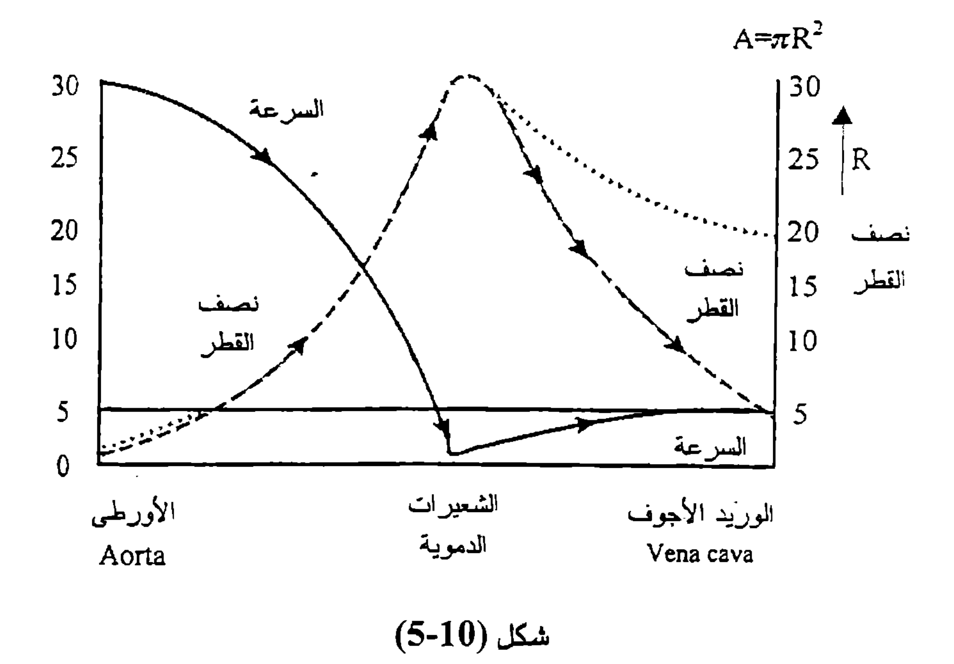
وهكذا تكون طاقة الحركة أكبر ما يمكن عند الخروج من القلب وأقل ما يمكن عند الشعيرات الدموية.

إلا أنه عند بذل مجهود فإن القلب يضخ الدم بسرعة تصل إلى خمس مرات القيمة المذكورة وتصل ضربات القلب إلى أقصى قيمة لها ويكون الضغط المكافئ لطاقة الحركة قيمة كبيرة (حوالى 75 مم زئبق).

ولإيضاح تغيّر السرعة ومساحة مقطع الأوعية الدموية نرسم شكل (5-10) لتتبع المتغيرين (A)، v من الأورطى (Aorta) حتى الوريد الأجوف (vena cave) من هذا الشكل نرى أن سرعة الدم عند خروجه من الأورطى تكون أسرع ما يمكن 30سم/ثانية ويكون نصف قطر الأورطى فى حدود 1 سم (مساحة مقطعه 3 سم^2)، ثم تقل سرعة الدم لتصل إلى 1.5 سم/ ثانية فى الشعيرات الدموية حيث نصف القطر المكافئ لمجموع أنصاف أقطار الشعيرات الدموية 30 سم (أى مساحة المقطع المكافئ 600 سم^2)، ثم تزداد مرة أخرى لتصل إلى 5سم/ ثانية عند دخول القلب من الوريد الأجوف حيث يكون نصف قطره 0.9 سم (مساحة مقطع 18 سم^2) وفى جميع الحالات تظل كمية الدم المتحركة فى الأوعية الدموية ثابتة وتحكمها معادلة الأستمرار $(A_1 v_1 = A_2 v_2)$ وتحسب سرعة الدم فى جزء من الدورة الدموية بقسمة معدل السريان على مساحة المقطع فى هذا الجزء أى أن معدل السريان :

$$\frac{dm}{dt} = \frac{Av.t\rho}{t} = A\upsilon\rho$$

حيث ρ كثافة الدم.



شكل (10-5)

أى أن السرعة υ **تساوى** :

$$\upsilon = \frac{dm}{dt} \Big/ A$$

بفرض أن ρ ثابتة فى جميع أجزاء الدورة الدموية ويؤثر على سريان الدم لزوجته($\text{viscosity}(\eta)$) وهى تقاس فى نظام (cgs) بوحدة بواز (poise) وتقاس فى النظام العالمى للوحدات(SIU) بوحدة بسكال ثانية (1 pas=10 poise) ومعامل لزوجة الدم(3.5×10^{-3} pas)وهو يعتمد على نسبة كرات الدم الحمراء فى الدم أو على الدموية (hematocrit) فكلما زادت الدموية زادت لزوجة الدم، والمرضى الذين يعانون من إحمرار الدم (poly cythemia) أو زيادة غير سوية فى كرات الدم الحمراء عندهم دموية عالية وغالبا ما يكون لديهم مشاكل فى الدورة الدموية. وتعتمد سرعة الدم أيضاً على درجة الحرارة حيث تزداد لزوجة الدم بإنخفاض درجة الحرارة ويقل الإمداد بالدم وتبرد الأطراف (الأيدى والأقدام)، وتبريد الدم من 37°م إلى صفر يزداد معامل اللزوجة بمقدار مرتين ونصف.

وبالجملة فإن العوامل المؤثرة على معدل سريان الدم فى الأوعية الدموية هى اللزوجة (η)وطول الوعاء الدموى (L) ونصف قطر الوعاء الدموى R وفرق الضغط بين طرفى الوعاء الدموى بين نقطتى 1،2 أى P_1, P_2ويمكن صياغة ذلك فى قانون بواسيل (poiseuiles law) الذى يربط هذه العوامل على النحو التالى :

$$\text{(معدل السريان) Flow rate} = \frac{dm}{dt} = \left(\frac{\pi}{8}\right)\left(\frac{R^4}{L\eta}\right)(P_1 - P_2)$$

ويمكن أن نأخذ فى الاعتبار أن مرونة الأوعية الدموية تؤثر على هذه النتائج حيث يتغير نصف القطر مع تغير الضغط كما أن معامل اللزوجة يتغير مع معدل السريان إلا أن هذا التغير يمكن إهماله ويظل قانون بواسيل سارى المفعول ويحقق النتائج.

ويجب أن نلاحظ أيضا أنه بالرغم من أن المساحة الإجمالية لمساحة مقاطع الشرايين الدقيقة (arterioles) أكبر بكثير جدا من مساحة مقطع الأورطى إلا أن نقصا كبيرا يحدث للضغط عندها وذلك نظرا لمقاومة السريان الكبيرة عند كل منها والتى تتناسب مع نصف القطر للأس الرابع(R^4)، ويكون النقص أشد عند ضفيرة الشعيرات الدموية (capillary bed) لنفس السبب.

سريان الدم المتوازن وغير المتوازن

blood flow- laminar and turbulent

السريان المتزن للدم فى الأوعية الدموية يكون لطبقة الدم الملاصقة للجدران وتكون ساكنة والطبقة التى تليها سرعتها بطيئة ثم تزداد السرعة من طبقة إلى أخرى حتى تكون أسرع طبقة هى الطبقة المحورية (مثال ذلك هوائى التلفزيون الداخلى المغمد نفسه بنفسه فى أنابيب قصيرة والمحورى فيها الأصغر قطرا وهو يتقدمها)، وهذا التوزيع فى سرعات طبقات الدم فى الوعاء الدموى له أثر على توزيع كرات الدم

الحمراء فى الدورة الدموية حيث يكون تركيزها عند محور الوعاء أكبر من جوانبه، **وهذا يعطى أثرين :**

1. عندما يدخل الدم وعاء دموى صغير تاركا خلفه وعاء دموى رئيسى فإن نسبة كرات الدم الحمراء فى الوعاء الصغير تكون أقل منه فى الوعاء الرئيسى أى تكون الدموية قليلة (hematocrit) وذلك كأثر لعملية القشط (skimming).
2. نظرا لأن بلازما الدم على طول جدار الوعاء الدموى تتحرك ببطيء شديد عن كرات الدم الحمراء فإن الدم فى الأطراف يحتوى نسبة كبيرة من كرات الدم الحمراء أكثر مما كان عليه عند مغادرة القلب، وبذلك تزداد نسبة الدموية (الاحمرار) فى اليد والقدمين.

والسريان المتزن للدم فى الأوعية الدموية لا يحدث صوتاً وتسمى بالحركة الخرساء فإذا ما زيدت سرعة الدم فى وعائه بالتدريج فإننا نصل إلى سرعة حرجة عندها يتحول سريان الدم من سريان متزن (laminar) فى طبقات متتالية السرعة إلى سريان غير متزن (turbulent) ويحدث ذلك بتقليل نصف قطر الوعاء كما هو الحال عند قياس ضغط الدم حيث يقلل نصف قطر الوريد العضدى بإستخدام سوار الضغط، ومن مميزات السريان الغير متزن إحداث صوت ناتج عن الذبذبات فى الحركة غير المتزنة وبذلك يقاس الضغط.

وتعين هذه السرعة الحرجة ((critical velocity (Vc)) بإستخدام معادلة رينولد (Reynold) **التالية:**

$$Vc = K\eta / \rho R$$

حيث η معامل لزوجة الدم، ρ كثافة الدم، R نصف وعاء الدم، K ثابت يعرف بثابت رينولد (Reynold constant) وقيمته 1000 لسوائل كثيرة من بينهم الدم.

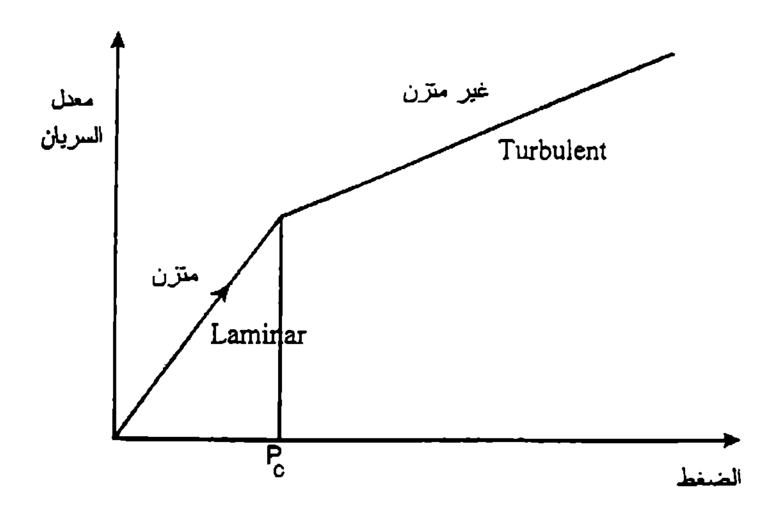
أما السرعة الحرجة لخروج الدم من الأورطـــى، (υ_{ca}) **فإنهـــا تقـــاس بـــنفس المعادلة:**

$$\upsilon_{ca} = {K\eta}/{\rho R} = (1000)(3.5\times10^{-3})/10^{3}\times k^{-2} = 0.35 m/s$$

والسرعة فى الأورطى تقع فى المدى من صفر إلى 40 سم/ ثانية وبالتالى فـــإن السريان غير متزن، وتزداد هذه السرعة إلى أربع أو خمس مرات عند بـــذل مجهـــود ولمدة طويلة، ويكاد يسمع صوت القلب فى هذه الحالة بالأذن المجردة ويكون مختلـــف عن صوت القلب للشخص المستريح.

ويجب أن نلاحظ أو وجود موانع مثل انثناء أو ترسبات فى داخل الوعاء الدموى يقلل ثابت رينولد ومن ثم تتأثر السرعة الحرجة وتتغير قيم الضغط المقاسة.

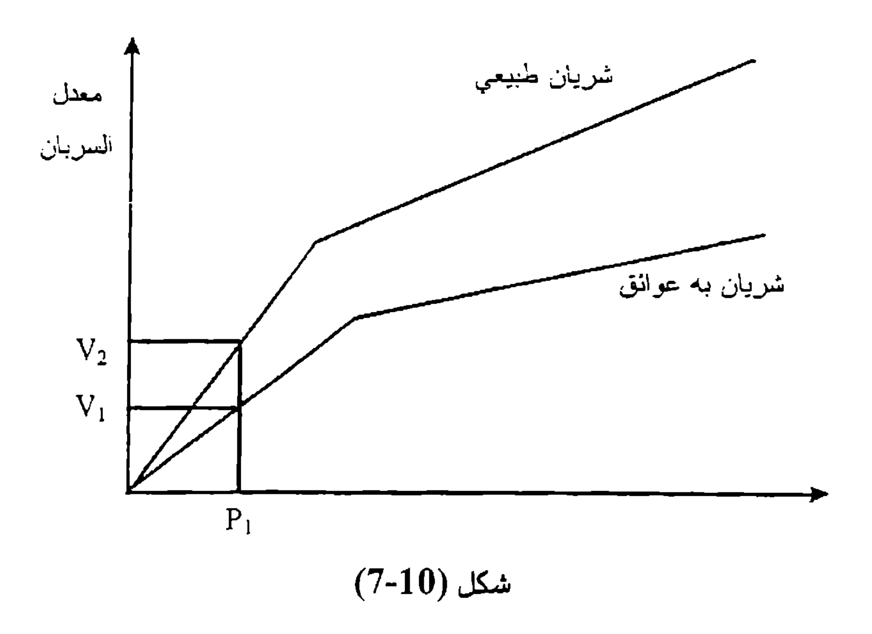
وبرسم العلاقة بين الضغط ومعدل السريان نرى أن السريان المتزن يكون مـــؤثر أكثر من السريان الغير متزن كما فى شكل (10-5) حيث يكون ميـــل المنحنـــى فـــى منطقة السريان المتزن أكبر منه فى منطقة السريان الغير متزن أى التدفق فى الحالـــة الأولى أكبر من الحالة الثانية.



شكل (10-6)

وبرسم هذه العلاقة مرة أخرى لشريان دموى به عوائق (ترسيبات أو إنثناءات) فإننا نحصل على نفس الشكل وقيم معدل السريان تكون أقل الأمر الذى يلزم زيادة فى الضغط للحصول على نفس معدل السريان ومن ثم يبذل القلب شغل أكبر شكل (6-10).

ومن الشكل يكون معدل السريان الطبيعي هو V_2 بينما معدل السريان للشريان المريض V_1 ولما كانت $V_1<V_2$ فإن الشغل الناتج بنفس الضغط يكون كبير فى حالة الشريان الطبيعى $w' = p_1 v_2$ وأكبر من $w = p_1 v_1$ في حالة الشريان المريض وإذا أريد الوصول إلى نفس كمية معدل السريان فلابد من بذل شغل إضافي قدره $\Delta w = w' - w = p_1 (v_2 - v_1) = p_1 \Delta v$ أى، وذلك لكون السريان سوف يكون غير متزن لوجود العوائق.



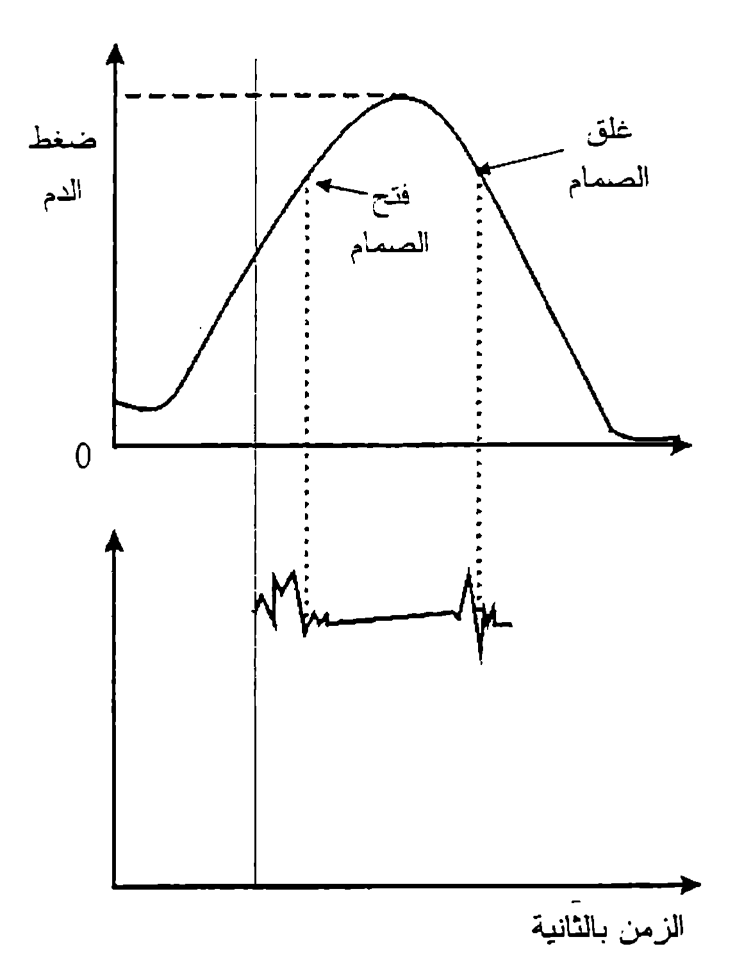
شكل (7-10)

صوت القلب heart sound

يستطيع طبيب القلب المدرب ذى الأذن الحساسة أن يحصل على معلومات وفيرة لتشخيص الحالة مما يسمعه من صوت القلب، والصوت هذا الذى يسمعه الطبيب

بإستخدام السماعة (stethoscope) يحدث بسبب ذبذبات تنشأ فـــى القلـــب والأوعيـــة الدموية الرئيسية، كما تساهم فى هذا الصوت حركات فتح وغلق صـــمامات القلـــب، والسريان الغير متزن للدم فى هذه الحالة والذبذبات الحادثة تعطى صوتا فـــى المـــدى المسموع (audible ranges).

وشكل (10-8) يوضح العلاقة بين ضغط الدم والزمن والصوت المسموع والزمن بالنسبة لقلب طبيعى، وهذه الأصوات تسمع همسا (murmar) عندما يكون القلب غير طبيعى، ويحدث ذلك بسبب أية عوائق تجعل السريان غير متزن.



شكل (10-8)

فيزياء بعض أمراض الجهاز الدورى

The physics of some cardiovascular diseases

الشغل المبذول بواسطة القلب هو بشكل تقريبى قوة شدة عضلة القلب وإلى أى مدى تظل تعمل، وأى شئ يزيد من قوة شد عضلة القلب أو يزيد وقت عملها يزيد من عبئ القلب (work load)، ومثال ذلك زيادة ضغط الدم (hypertension) يزيد من قوة شد عضلة القلب بشكل طردى، أى أنه عند خفقان القلب (teachycardia) يزداد عبئ العمل حيث يزداد زمن إنقباض القلب وإنبساطه.

وأشد أمراض القلب هى الذبحة القلبية (hear attack) وهى تحدث عند سد (blockage) شريان أو أكثر من الشرايين المغذية لعضلة القلب.

حيث يموت الجزء من عضلة القلب الذى لا يصل إليه الدم بالسده (infarct) وهذا الانسداد لا يؤثر لحظياً على الإشارة الكهربية المنظمة لنبضات القلب وعلى ذلك يكون رسم القلب للشخص الذى يعانى من ذبحة قلبية حديثة عادى جداً، وخلال الذبحة القلبية وبعدما تكون قدرة عضلة القلب على ضخ الدم إلى الجسم قلت أو ضعفت، ولتقليل عبئ الشغل على القلب فإن إلتزام الراحة وإمداده بالأكسجين يكون مفيد، حيث أن إعطاءه الأكسجين O_2 يزيد من كمية الأكسجين فى الدم وبذلك يقل ضخ الدم إلى الأنسجة وهذا يكون مفيد لعضلة القلب نفسها، وغالباً ما يكون هناك مسارات بديلة للدم ليصل إلى عضلة القلب حيث يتم التحامها بالعضلة وتوصل إليها الأكسجين بدلاً من الشرايين التى سدت، ومن أهم أهداف العلاج الطبيعى (المشى، التدليك) هو المحافظة على هذه المسارات مفتوحة.

وتضخم عضلة القلب مرض (congestive heart failure) وسببه هو زيادة أو كبر القلب ونقصان قابليته لتدوير الدم بشكل ملائم، وبذلك تقل كفاءة القلب عن الحالة الطبيعية وتجعله يحتاج إلى كمية أكبر من الأكسجين ليؤدى نفس القدرة من الشغل، والعلاج المناسب لهذه الحالة هو تقليل عبئ الشغل على القلب.

وقد استخدم جهاز منظم نبضات القلب فى حالة بعض المرضى المحتاجين إليه حيث تم تزويدهم بمنظم ضربات القلب الصناعى (pace maker)، وقد إستخدمت الصمامات الصناعية بدلا من الصمامات التالفة فى القلب سواء فى حالة عدم الإغلاق التام (not close well or insufficiency) أو عدم الفتح التام (open wide (stenosis)). ففى حالة عدم الفتح التام فإن كمية شغل القلب تزداد لتغطى ما حدث من جراء ضيق الفتحة وسريان الدم فى الدورة الدموية الرئيسية يقل وفى حالة عدم الإغلاق التام فإن بعض الدم يعود إلى القلب وبالتالى يقل حجم الدم فى الدورة الدموية، وكلا الحالتين ممكن معالجتها بإستخدام صمامات صناعية، والتى سبق معالجتها بالإشعاع لضمان نقائها وعدم تلوثها.

ومن أمراض الأوعية الدموية ترهلها (aneurysm) الناتج عن ضعف جدرانها وبذلك يزداد قطرها وتزداد تبعا لذلك قوة الشد فى جدرانها وقد يؤدى ذلك إلى فتقها (rupture) الذى يكون قاتل وخصوصا إذا كان الفتق فى المخ من النوع المؤدى إلى نزيف بالمخ ((cerebrovascular accident (CVA)).

والترسيبات على جدران الأوعية الدموية مشكلة أخرى (sclero- ticplaques) حيث تسبب سريان غير متزن للدم (turbulent flow) وتسمع لها أصوات هامسة (murmur)، وبذلك يسبب الضيق فى زيادة سرعة الدم كما يسبب نقص ضغط الجدران (أثريرنولى) وهذه الترسيبات (جلطات) من الممكن أن تترك مكانها وتتحرك مع الدم وتصل إلى شريان أضيق وتسده وتمنع مرور الدم (shutoff) إلى الجزء المتأثر فإذا كانت فى المخ تحدث إنفجار (stroke) وهذا نوع آخر من السكتات الدماغية (cerebrovascular accident).

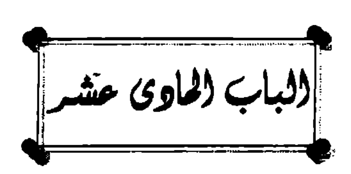
وهناك مرض ليس فى خطورة الترهل أو الترسبات ولكنه يحدث حرج وإرتباك وهو دوالى الرجل والساق (varicose) وهذه تعتبر من قضايا التجميل (cosmetic problem) وسببه هو فشل صمامات الاتجاه الواحد فى الأوردة المؤدية بالدم إلى القلب من الرجل فإذا فرض أن الدم يسرى فى رجل وقدم شخص واقف حيث

الضغط فى أوردة القدم 90 مم زئبق بسبب عمود الدم الواقع عليها ففى خلال المشى أو بذل أى مجهود بالرجل فإن قوة إنقباض العضلات تجبر دم الوريد على التحرك فى إتجاه القلب وهذا ما يسمى بضخ العضلة (muscle pump) أو ضخ الأوردة (venous pump) وعلى طول الأوردة وعند نقاط مختلفة توجد صمامات تسمح للدم بالحركة فى إتجاه واحد وبفعل ضخ العضلات (20 مم زئبق) أثناء المشى أو التدريبات تصبح هذه الصمامات ضعيفة ولا تستطيع أن تؤدى دورها فى التحكم فى حركة الدم الأمر الذى يسمح للدم بالحركة فى الاتجاه المضاد إلى أسفل ويكون بحيرات فى الأوردة وتظهر دوالى الرجل، وقد يحدث هذا من جراء الربط المحكم للأحزمة، كما يحدث هذا من جراء الوزن الزائد أثناء حمل السيدات، وعلاج الدوالى يكون بالجراحة، علماً بأن الأوردة البديلة تقوم بإعادة الدم إلى القلب.

خاتمة

والكلية هذا الجهاز الصغير ولكنه المعقد فهو يعد المصفاة المنقية للدم والمحافظة على تحسينه وتجميله، وكل دقيقة يدخل الكلى فى حدود لتر دم ويخرج منها نقى فضلا عن إحتياجاتها هى من الدم للتغذية، وتستطيع الكلى أن تؤدى دورها فى تنقية الدم حتى ولو ثم تنقية ربع لتر كل دقيقة، وهذا الدور هام لتخليص الدم من العوالق الضارة فإذا حدث قصور أو فشل لدور الكلى فإن وحدات الكلى الصناعية (dialysis units) تقوم بالدور نفسه.

ولا تنسى دور الدم فى توزيع كمية الحرارة فى الجسم سواء داخله أو على أطرافه كما سبق ذكره.



فيزياء التنفس

The physics of breathing

الباب الحادى عشر

فيـــزيـــاء التـــنـــفـــس

The physics of breathing

مقـــدمـــة:

الجسم البشرى آلة ومصدر الطاقة لها هو الطعام الذى يمـــر بمراحـــل الهـــضم المختلفة فى الجهاز الهضمى (digestive system) ثم يتحد مع الأكسجين فى خلايـــا الجسم المختلفة لينتج الطاقة، ومخرجات الجسم **تمر خلال أربعة طرق مختلفة:**

1. المركبات غير المهضومة تعزل وتخرج عن طريق الشرج بشكل صلب أو غازى.
2. الماء الزائد والأملاح الزائدة الذائبة والسوائل الأخرى تخرج فى شـــكل بـــول، أو عرق.
3. إما غاز ثانى أكسيد الكربون فهو يخرج عن طريق الرئة.
4. كما تخرج الحرارة بكميات متفاوتة من سطح الجلد.

وإذا كان الجسم البشرى آلة فإن هذه الآلة محصلة ملايين الآلات الصغيره هـــى الخلايا الحية للجسم، وكل واحدة من هذه الآلات الطبيعية، تزود بالوقود، والأكسجين، وطرق إخراج المنتجات، والدم والجهاز الدورى cardiovascular system يـــساعد هذه الآلات فى صورة جهاز نقل transport system. والرئتين أو الجهاز الرئـــوى pulmonary system يقوم بعمليات الإمداد بالأكسجين ويخرج ثانى أكسيد الكربون، حيث يوصل الدم الأكسجين إلى جميع الأنسجة والعظام ويزيـــل منهـــا ثـــانى أكـــسيد

الكربون فى عودته، حيث يقترب بشدة مع الهواء داخل الرئتين ويستبدل حمله من ثانى أكسيد الكربون بحمل آخر من الأكسجين.

ونظراً لأن العلاقة وثيقة الصلة بين الجهاز الدورى والجهاز الرئوى فإن أى عمل فى أى منهما يؤثر على الآخر وعلى سبيل المثال فإن خلال عملية التنفس يؤثر الضغط فى الأوردة الرئيسية فى الصدر على الدم العائد إلى القلب، وغالباً ما تعطى أمراض الرئتين أعراض فى القلب والعكس صحيح، وبالإضافة إلى عملية تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فإن الرئتين تحافظ على حمضية الدم ثابتة (PH).

كما أن للرئتين دور آخر فى الأتزان الحرارى (heat exchange) وإتزان السوائل (fluid balance) فى الجسم وذلك بتسخين وترطيب هواء الشهيق (inspire)، وعملية التنفس مسئولة عن التحكم فى معدل سريان الهواء اللازم للكلام، والكحة، العطس، الأستنشاق، والضحك، والتثائب sneezing،coughing، sighing، sobbing، laughing، yawning، talking وبالإضافة إلى ذلك فإن كتم الهواء المار يساعد على القئ vomiting والتغوط defecating.

ويحتوى الهواء المستنشق على 80% نتروجين (N_2)، 20% أكسجين (O_2) وهواء الزفير يحتوى 80% من(N_2)، 16% من(O_2)، 40% ثانى أكسيد الكربون(CO_2)، وبالجملة يستهلك الجسم البشرى حوالى 10 كيلو جرام من الهواء يومياً، وبذلك فإن الرئتين تمتص 400 لتر من الأكسجين يومياً وتخرج كمية صغيرة من ثانى أكسيد الكربون، كما ترطب الرئة الهواء المستنشق بالماء.

ولكن الهواء المستنشق يحتوى أتربة (dust)، دخان (smoke)، والبكتريا السابحة فى الهواء (air-borne bacteria) وغازات أخرى كثيرة، والمساحة السطحية لسطح مكونات الرئة الداخلية والمبلدة (ملفوفة مع بعضها البعض) تكون فى حدود 90 متر مربع وهى أكبر مساحة معرضة للعوامل البيئية فى الجسم. ومن ذلك يتضح مدى أهمية الهواء النقى.

مسارات الهواء The airways

المدخل الطبيعى للهواء إلى الجسم هو الأنف حيث ينقى (filtered)، ويدفى (warmed) ويرطب (moisturized)، والسطح المندى أو الرطب والشعيرات الموجودة فى الأنف هى مصائد عوالق الهواء الداخل. وفى حالة التنفس من الفم تحت أى ظرف فإن درجة نقاء الهواء تكون أقل. ثم يمر الهواء بعد ذلك إلى القصبة الهوائية (windpipe or trachea) وتفرعاتها المتتالية والتى هى فى حدود 15 مرة، ثم يصل الهواء داخل الرئتين إلى ملايين الحويصلات الهوائية (alveoli)، وهى تشبه فقاعات الهواء المترابطة بقطر فى حدود 0.2 مم وسمك 0.4 ميكرومتر، وهى تتمدد وتنكمش أثناء عملية التنفس حيث يتم تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، وكل حويصلة محاطة بالدم حيث يدخل الأكسجين كرات الدم الحمراء بالأنتشار كما ينتشر ثانى أكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلات، وتحتوى الرئة الواحدة عند الولادة على 15 مليون حويصلة هوائية وعندما يصل العمر إلى ثمان سنوات يصبح هذا العدد فى حدود 150 مليون حويصلة هوائية، ثم يظل العدد ثابت تقريبا إلا أن قطر الحويصلة يزداد.

ومسارات الهواء بالإضافة إلى عملها الذى ذكر فهى أيضا تزيل العوالق التى ترسبت عليهما فى عملية تنقية الهواء **بطريقتين:**

1. **العوالق الكبيرة (large chunks) تزال بالحكة.**
2. **العوالق الصغيرة تحمل إلى الأعلى فى إتجاه الفم بواسطة ملايين الشعيرات الصغيرة والنتوءات (hairs or cilia).**

ورغم أن إرتفاع النتوئات لا يتعدى 0.1 مم إلا أن لها حركة موجية تمكنها من حمل المخاط (mucus) المحمل بالأتربة ودقائق العوالق إلى مسارات الهواء الرئيسية، والحركة البندولية لهذه النتوءات يصل ترددها إلى 1000 ذبذبة/ دقيقة، حيث يتحرك المخاط بسرعة 1.5 سم/ دقيقة، وكأن هذه النتوءات (الأهداب) سلالم آلية فى القصبة

الهوائية، والزمن اللازم لنقل عوالق من القصيبات الهوائية إلى القصبة الهوائية ثم إلى الزور فى حدود 30 دقيقة حيث تطرد (Expelled) إلى الخارج أو تبتلع (swallowed).

التعاون بين الدم والرئتين The blood and lungs co- operation

الهدف الأسمى للتنفس هو إمداد الدم بالأكسجين الطازج وإخلاءه من ثانى أكسيد الكربون فى الرئتين، والدم يضخ من القلب إلى الرئتين بضغط منخفض نسبياً حيث يكون ضغط الدم فى الشرايين الموصلة للرئتين في حدود 20 مم زئبق.

والرئتين تقاومان الدم بشكل ضعيف (مقاومة قليلة)، وفى المتوسط يكون خمس دم الجسم فى الرئتين و80 مللى لتر منه يكون موجود فى الشعيرات الدموية فى الرئتين للحصول على الأكسجين فى أية لحظة، ونظراً لأن زمن تواجد الدم فى الرئتين يكون أقل من ثانية واحدة فإن كفاءة عملية تبادل الغازات فى الرئتين عالية جداً ويتضح ذلك فى دقة سمك جدار الحويصلات الهوائية (0.4 ميكرومتر) والدم يحيط بها فى الشعيرات الدموية الدقيقة. وحيث مساحة التلاصق بين الهواء والدم فى الرئة فى حدود نصف أرض ملعب التنس (80 متر^2) فإن نشر 80 مللى لتر على هذه المساحة يغطى طبقة دم سمكها 1 ميكرومتر أى أقل من سمك كرة دم حمراء واحدة. **وذلك يسهل أداء العمليتين الآتيتين:**

1. إيصال الدم إلى الشعيرات الدموية الرئوية (perfusion) وكأنها فرشت دم.
2. إيصال الهواء إلى سطح الحويصلات الهوائية للتبادل (ventilation) الغازى (التهوية) وتخلف أى عملية منهم بجعل الدم غير مؤكسد بشكل تام.

وهناك ثلاثة أنواع من مساحات التدميم والتهوية (perfusion- ventilation) فى الرئة:

1. مساحات تتميز بتهوية والتدميم بشكل حسن.

2. مساحات تتميز بتهوية حسنة وتدميم ضعيف.

3. مساحات تتميز بتهوية ضعيفة وتدميم حسن.

فى حالة الرئة الصحيحة والطبيعية 85% من حجم الرئة يعمل بالطريقة الأولى. أما إذا تجلط الدم فى جزء من الرئة أثناء السريان (pulmonary embolism) فإن هذا الجزء يكون ضعيف الإغراق بالدم (التدميم) وكذلك إذا سد طريق الهواء فى أى جزء من الرئتين فإن هذا الجزء يكون ممثل لجزء مساحته ضعيفة التهوية وكثيراً من الأمراض تؤدى إلى ضعف التدميم أو ضعف التهوية.

وإنتقال الأكسجين وثانى أكسيد الكربون من وإلى الدم تحكمه قوانين الأنتشار. نظراً لأن حركة الجزئيات دائمة فإن المناطق ذات التركيز الأكبر تنتشر منها الجزئيات إلى المناطق ذات التركيز الأقل حتى تتساوى التركيزات وذلك بفعل الأنتشار وفى حالة تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فإن ذلك هو إنتشار غازات فى سوائل والغازات تنتشر بسرعة الصوت فى السوائل، وكل جزئ يصطدم 10^{10} مرة كل ثانية مع جيرانه من الجزئيات بشكل عشوائى.

وأكبر مسافة يقطعها الجزئ بعد عدد من التصادمات (N) هى عمق الأنتشار (D) أى أن:

$$D = \lambda \sqrt{N}$$

حيث λ هى المسار الحر المتوسط (average mean free path) أو هى المسافة المتوسطة بين كل تصادمين وهى فى الهواء 10^{-6}متر ولكن فى الأنسجة 10^{-10}متر.

والأنتشار يعتمد على سرعة الجزئيات التى تكون أسرع إذا كانت الجزئيات خفيفة وعند إرتفاع درجات الحرارة، ونظراً لأن عدد التصادمات (N) يزداد بزيادة زمن الانتشار (Δt) أى ($N \alpha \Delta t$) فإن:

$D = \lambda\sqrt{\Delta t}$

$D\alpha\sqrt{\Delta t}$

$\therefore D^2\alpha\Delta t$

والأنتشار داخل الرئتين (أى داخل الحويصلات الهوائية) يكون سريع وتكــون D فى حدود أجزاء من المللى متر ويتم الانتشار فى أجزاء من الثانية، ولكن إنتشار كــل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون داخل الأنسجة يكون أبطى وذلك بمقارنـــة عمــق الانتشار فى الهواء $(D = 10^{-2}\,\text{mater})$وفى الأنسجة$(D = 10^{-5}\,\text{mater})$. ولكن يسهل عملية الانتشار فيها أن سمك الحويصلات الهوائية فى حدود 0.4 ميكرومتر ومن ثــم يتم الانتشار فى أقل من ثانية وبذلك يبدل الدم حمله من ثانى أكسيد الكربــون ويأخــذ الأكسجين اللازم لعملية الاحتراق ولتحرير الطاقة اللازمة لإدارة شئون الجــسم ومــا يبذله من عمل.

ولتفهم ما حدث بين الأكسجين فى الحويصلات الهوائية ووعــاء مــن الأنابيــب الشعرية حاملة الدم على سطح الحويصلة فإن عدد من جزئيات الأكسجين(O_2) تصطدم بالدم وتذوب فيه وبعد فترة من عملية دخول O_2 إلى الدم فى الشعيرات الدموية علــى سطح الحويصلة يحدث إتزان بين عدد جزئيات O_2 الداخلة الى الشعيرات الدموية من الحويصلات وعدد O_2 الخارجة من الاوعية الدموية الى الحويصلات، وبذلك يكــون الضغط الجزئى للأكسجين (pO_2) داخل الأوعية الدموية علــى ســطح الحويــصلات مساوى لضغط pO_2 داخل الحويصلات (قانون دالتون للضغط). ويظل الأمر كــذلك بحيث إذا حدث أى تغير على أحد الجانبين حدث مثله فى الجانب الآخر.

ونظراً لأن ذوبانية O_2تختلف عن ذوبانية CO_2 فى الأنسجة فإن O_2 ينتشر فى جدار الحويصلات الهوائية أسرع من CO_2وخصوصاً أن كتلة O_2 أصغر من كتلــة CO_2، ولكن المحصلة النهائية أن إنتقال CO_2 فى الأنسجة أكثر فعالية نظراً لكثــرة جزيئاته فى حالة السيولة عن O_2، بالإضافة إلى ذلك فإن العوامل المرضية قد تزيــد

من سمك جدار الحويصلات الهوائية الأمر الذى يجعل إنتقال الأكسجين أبطئ من إنتقال جزئيات CO_2.

وكذلك فإن مخلوط الغازين فى الحويصلات ليس هو نفسه كما هو الحال فى الهواء العادى، والسبب فى ذلك أن الرئتين لا تخلون تماما من شحنتها عند كل زفير (نهاية عملية تنفس واحدة) ولكن يتبقى بهما ما يساوى 30% من حجمهما بعد كل زفير. وهذا مايسمى أثر المتبقى من الشحنة (FRC) functional residual capacity. ونظراً لأنه فى الشهيق الواحد يختلط 500 سم^3 من الهواء الحديث مع المتبقى بعد الزفير السابق وقدره 2000 سم^3 فى الرئتين مما يؤدى إلى وجود أكسجين فى الحويصلات الهوائية وضغطه الجزئى فى حدود 100 مم زئبق، فى حين أن الضغط الجزئى فى الحويصلات الهوائية فى حدود 40 مم زئبق.

وبذلك تتحقق النتائج نفسها، أما فى حالة الزفير فإن الضغط الجزئى للأكسجين (PO_2) يكون كبير بينما الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون يكون قليل $p(CO_2)$.

والنسبة بين ثانى أكسيد الكربون الخارج إلى الأكسجين الداخل هى نسبة التبادل فى التنفس $\left(\frac{CO_2 out}{O_2 in}\right)$ Respiratory quotient (R) or Respiratory Exchange ratio وعادة يكون R أقل من الواحد (R<1).

وكأن الخلاصة أنه خلال عملية التنفس الطبيعية فإن الأكسجين الحديث (O_2) ينتشر بسرعة خلال الهواء القديم المتبقى بعد الزفير السابق ويصل إلى سطح الحويصلات الهوائية ثم يذوب فى الجدار الرطب للحويصلات الهوائية وينتشر إلى داخل الأنابيب الشعرية الحاملة للدم حتى يتساوى ضغط الأكسجين الجزئى $p(O_2)$ داخل الوعاء الدموى من جانب وداخل الحويصلة الهوائية من جانب آخر وذلك يتم فى أقل من 0.5 ثانية، وكذلك فإن CO_2 الموجود فى الدم ينتشر بشكل أسرع إلى داخل الحويصلات الهوائية.

والأكسجين السائل فى الدم قليل ويتحد مع الهموجلوبين كيميائياً (Hemoglobin (Hb)) فى كرات الدم الحمراء وبذلك يكون الأكسجين فى الدم كثير حيث يحمل لتر الدم ما قيمته 200 سم^3 من O_2 عند معدل الضغط ودرجة الحرارة العاديين (NTP) بهذه الطريقة فى الوقت الذى يحمل فيه لتر الدم 2.5 سم^3 من O_2 السائل فقط ونظرا لأن الأكسجين ليس سائل فإن قوانين الأنتشار لا تستقيم، لذلك فإن الهموجلوبين المشبع بالأكسجين بنسبة تصل إلى 97% وبضغط جزئى 100 مم زئبق عند مغادرته الرئتين فإن هذا الضغط يقل بنسبة 50% قبل إفراغ الدم حمله من الأكسجين وذلك لكون الضغط الجزئى للأكسجين فى الخلايا المستقبلة للأكسجين قليل، عند ذلك يتحلل الأكسجين من الهموجلوبين وينتشر فى خلايا الجسم المختلفة، كما يجب أن نلاحظ أن عملية تحلل الأكسجين من Hb لا تتم لحظيا ولكن تدريجيا فى ضوء $p(CO_2)$ فى الأنسجة.

وفى حالة السكون يعود الدم إلي القلب وهو محمل بالأكسجين بنسبة 75% من حمله الأصلى أى أنه فى حالة عدم إحتياج الجسم (الخلايا) إلى الأكسجين يحتفظ الدم بالأكسجين الزائد، ولكن الموقف يتغير تماما (changes drastically) فى حالة بذل جهد حيث يقل ضغط الأكسجين الجزئى (pO_2) فى العضلة المتحركة ويحتاج بذلك إلى أكسجين زيادة والذى يتحلل من الهموجلوبين (Hb) وينتشر فى العضلة المعنية.

وقد وجد أن العضلة المتحركة تحتاج عشرة أمثال ما تحتاجه من الأكسجين فى حالة السكون. وبذلك يمكن القول أن العامل المحدد فى حالة الشخص العادى فى حالة الشغل ليس كمية الدم التى تضخ من القلب فى الدقيقة (cardiac output) ولا كمية الأكسجين التى تصل الدم من الرئتين ولكن العامل المحدد هو السرعة التى تنتقل بها كمية الأكسجين O_2 إلى العضلة العاملة (working muscles).

وكذلك يعتمد تحلل الأكسجين من Hb على الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون (pCO_2)، ودرجة الحمضية (pH acidity) ودرجة الحرارة، وكل هذه العوامل تزداد فى حالة العضلة العاملة (غير الساكنة) وتعطى فرصة للهموجلوبين Hb للتخلى عن

مزيد من الأكسجين الذى ينتقل إلى العضلات العاملة (working muscles). ولكن فى الرئتين يؤدى نقصان الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون (pCO_2) إلى إتحاد الهموجلوبين بمزيد من الأكسجين.

وثانى أكسيد الكربون يظل فى الدم بعد مغادرته الرئتين ويظل مستواه ثابت فى الدم بالمعدل الطبيعى للتنفس $(Pco_2=40 \text{ m Hg})$ أما التنفس السريع فى ضوء بذل مجهود يزيد من عملية التهوية (Hyperventilation) وبذلك يقل ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى (Pco_2) فى الدم (hypocapnia) وذلك يسبب إضطراب فى الفكر أو يحجمه، (mental disturbance and fainting).

أما فى حالة أول أكسيد الكربون CO (وهو سام) فإن جزيئاته تلتصق بالهموجلوبين (Hb) فى الأماكن المخصصة للأكسجين وبقوة التصاق أكبر من التصاق الأكسجين (تصل 250 ضعف) ولا تتحلل ببساطة إلى الأنسجة، وبالإضافة إلى إحتلاله أماكن مخصصة للأكسجين فإنه يقلل تحلل الأكسجين من Hb وذلك يحدث مهما كانت كمية CO قليلة. ومدخنى السجائر يستنشقون فى حدود 250 سم^3 من CO فى كل سيجارة، وبذلك يسبب أول أكسيد الكربون الوفاة بسبب ما يحدثه من جوع الخلايا للأكسجين.

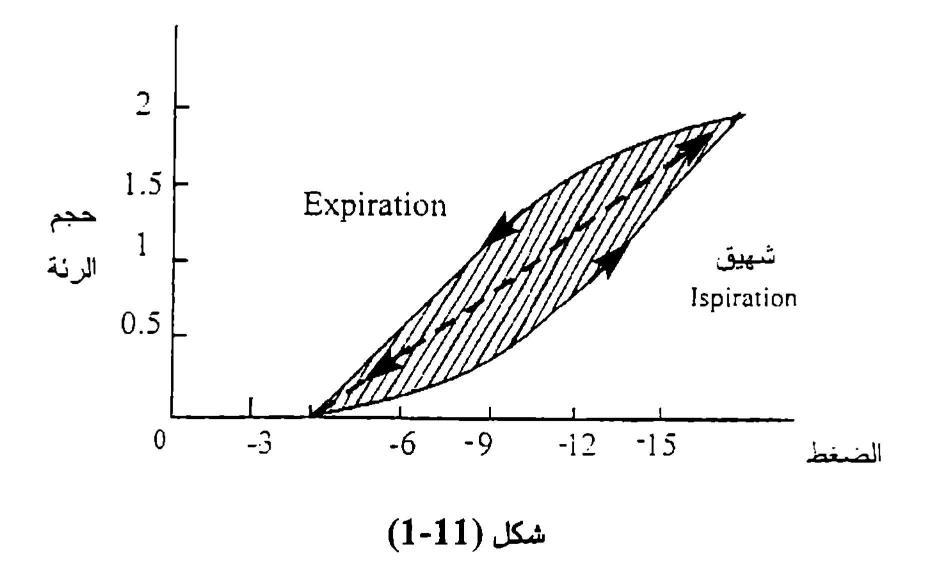
علاقة ضغط وحجم سريان الهواء فى الرئتين

Pressure-airflow volume in lung

الفرق فى الضغط اللازم لسريان الهواء فى الدخول والخروج من الرئة قليل وخصوصا فى حالة شخص فى حالة صحية حسنة.

ونظراً لأن المرئ يمر فى الصدر فإنه يوضح متوسط الضغط بين الصدر والرئتين ويقاس الضغط فى المرئ بمقاييس الضغط المعروفة (pressure gauge) وتكون قيمته سالبة (10 mm Hg - ~) بسبب مرونة الرئتين، وشكل (11-1) يوضح

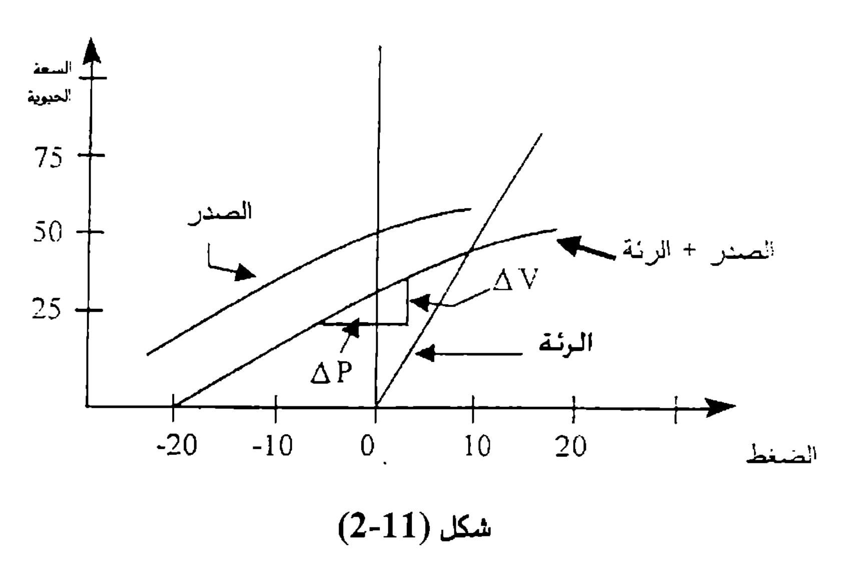
العلاقة بين الضغط المقاس فى المرئ (Intrathoratic) وحجم الرئة خـــلال عمليـــة التنفس، ومن هذا الشكل نلاحظ أن الضغط السالب يزداد خلال الشهيق حتى يصل إلى حده الأقصى وبالتالى يزداد معه حجم الرئة إلى الحد الأقصى عند نهاية عملية الشهيق ثم يبدأ الضغط فى التناقص (أى تزداد إيجابيه)، وبالتالى ينقص حجم الرئتين حتى نهاية عملية الزفير. ونلاحظ أن منحنى الشهيق لا ينطبق على منحنى الزفير أى أن الـــدورة تنقسم إلى جزئين فى حالة الشهيق يزداد الضغط السالب ويزداد حجم الرئتين إلى حده الأقصى ثم يأخذ الضغط فى إنقاص سالبيته بعد أن تصبح الرئة فى تمام إنبساطها فتبدأ فى الأنقباض ويقل حجم الرئتين بنقصان سالبية الضغط إلى أن تصل إلى حدها الأدنى، ويكون منحنى الشهيق ومنحنى الزفير خية تخلف الهواء (hysteresis loop) وتتناسب مساحة الخية طرديا مع المفقود من كمية الحرارة فى دورة التـــنفس الواحـــدة، وهـــذه المساحة تزداد بزيادة معدل التنفس.



شكل (1-11)

والصدر والرئتان يتحدان فى عملية الانبساط والانقباض خلال عمليـــة التـــنفس وعلاقة الضغط والسعة الحيوية موضح فى شكل (2-11)، يوضح هذا الشكل الـــضغط والسعة الحيوية لكل من الصدر، والرئتان كل على حده ثم يعطى نفس العلاقـــة لهمـــا معاً. فإذا أخذ الصدر منفردا فإن حجمه يساوى ثلثى السعة الحيوية الكلية. وإذا أخـــذت

الرئتين منفصلتين فإن كل منها ستكون منقبضة ولا يكون لها حجم وإذا تم إتحادهما فإن الحجم الكلى سوف يمثل 30% من السعة الحيوية، ويقاس الضغط من الفم بعد غلقه وغلق الأنف وتكون عضلات التنفس فى حالة هدوء، ويساعد على هذا الخواص المرنة للرئتين.



شكل (11-2)

وطواعية (compliance) الرئتين خاصية هامة وتعرف على أنها التغير الحادث فى حجم الرئتين مقابل التغير فى الضغط داخلهما أى $(\Delta V / \Delta P)$ ووحدة قياسها هى لتر/ سم، مياه، وقيمتها للفرد البالغ الصحيح فى المدى $(0.17 - 0.27 \text{litre}/\text{cmH}_2\text{O})$ وتزداد بنسبة 25% للرجال فوق الستين، والرئتين المتليفتين stiff (fibrotic) يكون تغير الحجم فيها قليل بالنسبة لتغير الضغط (قليلة المرونة) وبالتالى تكون الطواعية فيها قليلة، والرئتين المترهلتين (flabby lungs) يكون التغير فى حجمهما كبير مقابل تغير صغير فى الضغط وتكون طواعيتها كبيرة، ومثال الحالة الأولى الأطفال المبتسرين (distress syndrome) ومثال الحالة الثانية إنتفاخ الرئتين (emphysema).

فيـزيـاء الحويصـلات الهوائيـة physics of alveoli

الحويصلات الهوائية تشبه فقاعات الهواء المتصلة، وهى تقلل حجمها نظرا لأن معامل التوتر السطحى للسائل المبطن لها غير ثابت، وتسمى هـذه البطانــة بـسطح الترابط (surfactant) وهو يساعد الرئة على تأدية وظائفها.

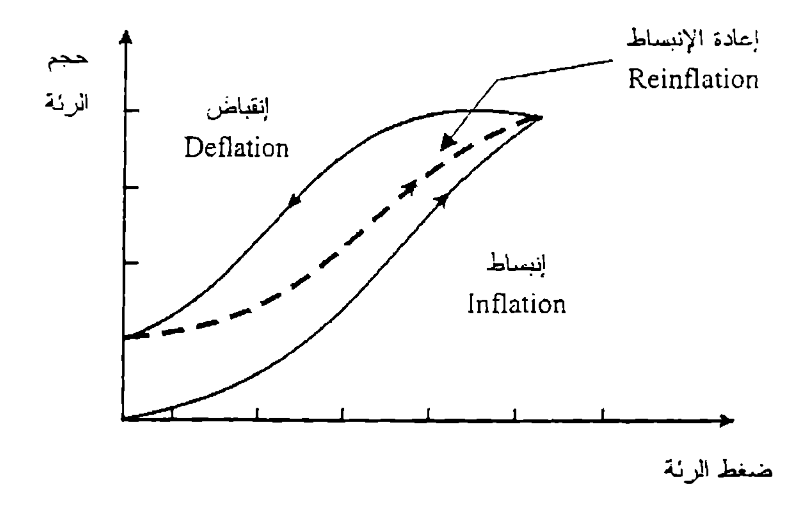
وضغط الفقاعة (P)، ونصف قطرها (R) وتوترها السطحى δ) **تربطهم العلاقة:**

$$P = 4\delta / R$$

والفقاعات غير المتساوية الضغط إذا إتصلت ببعضها فإن ضغطها يتـساوى، إلا أن الحويصلات الهوائية لا تماثل الفقاعات تماما لكونها تميل لتقليل حجمها أو تنقـبض على بعضها (collapse)، والحويصلات لا تنقبض جميعها فى آن واحد ويرجع السبب فى ذلك لأن معامل توترها الـسطحى غيـر متـساوى لوجـود الـسطح المتـرابط (surfactant)، وقد دلت الدراسة على أن الفقاعات الخارجة من الرئة تظل مـستقرة وقت طويل الأمر الذى يدل على أن الضغط داخلها قليل ومن ثم يكون معامل توترهـا السطحى قليل وذلك يدل على أن معامل التوتر السطحى للسائل المبطن للحويـصلات الهوائية قليل ومن ثم لا تنقبض تماما، ويقل معامل التوتر السطحى للـسائل المـبطن للحويصلات الهوائية فى حالة الزفير أكثر حيث تنقبض الحويصلات الهوائيـة ويقـل حجمها وبالتالى تقل مساحتها السطحية والحويصلات التى لا يغطى سـطحها سـائل الترابط (surfactant) فإنها تنقبض كما تنقبض فقاعات الهواء وتحتاج إلى ضغط كبير لإعادة فتحها حيث يمثل ذلك مشكلة للأطفال المبتسرين.

ودراسة سلوك الضغط والحجم (P-V) لرئة يعطى فكرة على أنـه إذا إنقبـضت الرئة تماما فإنه لابد من قدر كبير من الضغط لنبدأ فى الإنبـساط (inflation) مـرة أخرى بالضبط كما فى حالة نفخ بالونة مطاطية لأول مرة وعند ذلك يكـون إنبـساط الرئة أمر أسهل حتى تصل إلى قرب أقصى حجم لها.

ولكن الضغط يسلك طريق مخالف فى حالة الأنقباض، عندما يصل الضغط إلى صفر فإن الرئة تظل محتفظة ببعض الهواء أى أن حجمها لا يساوى صفر ومن ثم تحتاج إلى ضغط قليل لإعادة الانبساط مرة أخرى أى طريق إعادة الانبساط لا ينطبق على طريق الانقباض السابق، وبذلك برسم العلاقة بين الضغط والحجم (P-V) نحصل على دورة يكون فيها منحنى الانبساط الأول يبدأ حيث P مساوى صفر والحجم صفر وعندما تصل الرئة إلى قرب حجمها الأقصى فى نهاية عملية الشهيق تبدأ الرئة فى الانقباض ويقل الحجم والضغط حتى يصل الضغط إلى الصفر ولكن الحجم يصل إلى قيمة تسمى أثر المتبقى من السعة (functional residual capacity) عند نهاية عملية الزفير ثم تبدأ عملية الانبساط من ضغط مساوى للصفر لكن الحجم يكون له القيمة المذكورة، وبذلك لا ينطبق منحنى الشهيق على منحنى الزفير كعلاقة بين الضغط الحجم فى نصفى الدورة مكونان خية التخلف (hysteresis loop).



شكل (3-11)

وقد وجد أن المساحة داخل هذه الخية (hysteresis loop) تتناسب مع الطاقة المفقودة خلال دورة الشهيق والزفير على شكل حرارة، وتكون هذه المساحة صغيرة عندما يكون المد والجزر فى الرئة هادئ فى الظروف العادية لعملية التنفس.

وإذا استمرت عملية التنفس بالشكل العادى السابق ذكره فإن بعض الحويصلات الهوائية تنقبض تماما ويلزم زيادة الضغط لإعادة فتحها الأمر الذى يزيد مساحة الخية (hysteresis loop) ويتحرك المنحنى كله فى إتجاه زيادة الضغط.

فإذا ما تم الانبساط عاد المنحنى إلى ما كان عليه وذلك يكون عن طريق شهيق عميق (deep) أو شهقه (a sigh)، ولذلك فى حالة العمليات الجراحية يدفع الطبيب (anesthesiologist) بشكل فجائى قدر من الغاز فى رئة المريض لإعادة فتح الحويصلات الهوائية التامة الانقباض. وكتم صدر المريض (Taping) يمنعه من أخذ نفس عميق وبذلك يبدو وكأن جزء من فراغ الرئة قد فقد نتيجة إنقباض بعض الحويصلات الهوائية بشكل تام و (atelectasis).

ومنحنى (P-V) لرئة تعانى من قلة سطح الترابط (surfactant) فإن الحويصلات الهوائية التامة الانقباض سوف يزداد عددها ويحتاج الأمر إلى إستمرار زيادة الضغط لإعادة فتحها وبذلك تزاح خية التخلف فى إتجاه زيادة الضغط زيادة كبيرة لضمان فتح غالبية الحويصلات الهوائية، ويحدث ذلك عندما تكون مطاوعة الرئة قليلة $(\Delta v / \Delta p)$.

كما أنه من الجانب الآخر عندما يكون المتبقى من الهواء داخل الرئة بعد عملية الزفير كبير نسبيا functional residual capacity (FRC) فإن المريض يعانى من إنتفاخ الرئة (emphysema) وذلك لكون المطاوعة (compliance) $(\Delta v / \Delta p)$ كبيرة (الحجم كبير والضغط صغير) وبذلك تكون المساحة داخل خية التخلف (hysteresis loop) كبيرة كما أن منحنى p-v يكون مزاح كله في إتجاه محور الحجم.

ميكانيكا التنفس The breathing mechanism

التنفس محكوم بغير إرادة الكائن الحى وبالرغم من هذا فإن معدل التنفس ممكن أن يتغير دون إنتباه من صاحبة إلا إذا ألم به أزمة ربو أو إنتفاخ الرئة والتحكم

الفسيولوجى للتنفس يعتمد على عوامل كثيرة ولكن مركز التنفس فى المخ عليه المعول فى ذلك، والرئتين لا تنقبض كل منهما بشكل تام فى الظروف العادية لأنهما محاطين بإناء مملوء هواء ومغلق غلقا تاما وهو الصدر، وطالما أن الحجاب الحاجز (Diaphragm) وقفص الضلوع (ribcage) يتحركان فإن الرئتين يظلان فى تلامس معهما ويحمى الرئتان من الأنقباض التام **قوتين**:

1. التوتر السطحى بين الرئتين وجدار الصدر.

2. ضغط الهواء داخل الرئتين.

وهناك عضلات كثيرة تشارك فى عملية التنفس منها عضلات بين الضلوع (intercostals) فى جدار الصدر تسبب تمدد الصدر عند إنكماشها ويساعدها عضلات أخرى بين الرقبة والصدر فى نفس الدور، وعضلة الحجاب الحاجز تلعب دورا كبيرا فى عملية التنفس حيث تشد الحجاب الحاجز إلي أسفل فى حالة الشهيق وهذا يؤدى إلى ضغط سالب داخل الرئتين ويسهل دخول الهواء وفى حالة الزفير فإن عضلة الحجاب ترتخى وتهدأ بسبب مرونة الرئتين وتعود إلى وضعها الطبيعى ويخرج الهواء من الرئتين إلى الخارج دون الحاجة لتحريك عضلات، وإذا حدث تعطل أو مشكل لعضلة الحجاب الحاجز فإن العضلات بين أضلاع القفص الصدرى تؤدى عملية التنفس.

وإذا حدث ثقب فى جدار القفص الصدرى فإن الرئة تنقبض تماما (collapse) وينخفض الحجاب الحاجز ويتمدد جدار القفص الصدرى، وتؤدى إلى فقدان الهواء المحبوس فى القفص الصدرى (pneumothorax)، وتعالج عادة بجعل أحد الرئتين تنقبض تماما دون الأخرى وذلك لكون كل منها فى حجرة مستقلة حيث تفرغ الرئة التى فى الحجرة التى حدث فيها الثقب.

وهذه الرئة تعود إلى حجمها الطبيعى خلال عدة أسابيع حيث يتم إمتصاص الهواء بواسطة الأنسجة.

ونظرا لأن الرئة والصدر مرنين فإنه يمكن تمثيل كل منهم بيانى (springs)، وفى الظروف العادية هما مرتبطان إذا تمدد أحدهم فإن الآخر ينكمش، وفى الحالة الغير عادية (pneumothoras) فإن كل منهم لا يعتمد على الأخر.

مقاومة مسارات الهواء Air ways resistance

سريان الهواء فى الرئتين يشابه سريان التيار الكهربى فى دائرة كهربية وكذلك فإن تطبيق قانون أوم لتيار الهواء يشابه تيار الكهرباء فى دائرة كهربية حيث يحل فرق الضغط (Δp)محل فرق الجهد ويحل معدل سريان الهواء $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ محل التيار الكهربى ومقاومة مسار الهواء R_g تعطى بفرق الضغط مقسوما على معدل سريان الهواء.

أى أن : $$R_g = \Delta P \Big/ \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

ووحداتها وحدات الضغط على وحدات الحجم على الزمن $R_g = \frac{cm.H_2O}{Litre/\sec}$ وقيمتها فى حالة الشخص البالغ فى حدود 3 سم. ماء/ لتر. ثانية.

وتعتمد على أبعاد مسار الهواء (القصبة الهوائية مثلا) ومعامل لزوجة الهواء، وقيمة المقاومة تزداد تعقيدا حسب تعقيد مسار الهواء (قد تقسم إلى عدة مقاومات متصلة على التوازى أو متصلة على التوالى أو متصلة على التضاعف) وتكون معظم مقاومة الهواء كامنة فى الجزء العلوى للمسار، والمسار الأفقى يساهم بنصف قيمة المقاومة R_g، والمسارات الأخرى يقع 20% من قيمة المقاومة على الجزء العلوى منه، ويقع 10% من قيمة المقاومة على الطرف الثانى للمسار الهوائى، وذلك ناتج من الأمراض التى تصيب نهايات المسارات، وأمراض الشعب الهوائية والحويصلات الهوائية لا تؤثر كثيرا فى قيمة هذه المقاومة.

وثابت الزمن (Time constant) للرئتين يربط بمقاومة المسارات الهوائية R_g وطواعيتها compliance (c)، ويعطى بحاصل ضرب القيمتين :

أى : (ثابت الزمن) $R_g.c = \pi$.

وهو يشابه ثابت الزمن لمكثف فى الدوائر الكهربية والذى يتم شحنه من خلال مقاومة، ونظرا لان تركيب الرئة ومحتواها كثير التعقيد من حيث شكل الحويصلات وقنواتها الهوائية فإن ثابت الزمن لها يكون حسابه معقد، فإذا حدث أن جزء من أجزاء الرئة له ثابت زمن كبير عن الأجزاء الأخرى فإن هذا الجزء لن ينال حظه من الهواء ويكون سئ التهوية (poorly ventilated).

فيزياء أمراض الرئتين physics of lungs diseases :

فى حالة الاسترخاء جزء صغير من سعة الرئة هو الذى يكون مستخدم، وبذلك فإن معظم الأمراض الرئة غالبا لا تعطى أية أعراض محسوسة فى مراحلها الأولى، وعند الشعور بأعراض المرض يكون فى حالة متقدمة، ولذلك يفضل إتباع الطرق الوقائية فى الاهتمام بالرئتين.

فى حالة إنتفاخ الرئتان (emphysema) فإن الفواصل بين الحويصلات الهوائية تنهار ويتسع بذلك الفراغ الرئوى، هذا الانهيار فى أنسجة الرئة يقلل من مرونتها ويقلل مرونة كل حويصلة فإذا أفترض أن كل حويصلة تعمل عمل ياى (سستة أو زنبرك) (spring) فإن عدد هذه اليايات يقل وبالتالى تقل المرونة، ولذلك تزداد طواعية الرئتين (compliance) أى أن تغير بسيط فى الضغط يؤدى إلى تغير كبير مقابل له فى الحجم $(\Delta V/\Delta P)$. وقد يتخيل البعض أن هذا يساعد الرئة على التنفس ولكن الأمر غير صحيح لأن جزء كبير من الشغل فى التنفس يبذل فى تقليل المقاومة فى طريق المسارات الهوائية (air ways) وفى حالة إنتفاخ الرئة فإن مقاومة المسارات الهوائية تزداد بشكل كبير جدا.

ويمكن فهم ذلك إذا تصورنا أن مرونة الأنسجة فى الرئة الصحيحة وغير المريضة ناتجة من ملايين اليايات (الحويصلات الهوائية) المترابطة والمتصلة، هذه

اليايات لديها الرغبة فى الأنكماش لتنقبض الرئة وتتيح بذلك القوة التـى تجـزب بهـا جدران القفص الصدرى، وكذلك تجزب جدران الممرات الهوائية لتظل مفتوحة وبذلك تقل مقاومة الممرات الهوائية خلال عملية الزفير.

أما فى حالة الرئة المنتفخة إنتفاخ حاد (sever emphysema) فإن عـدد هـذه اليايات (springs) يقل بشكل كبير وتصبح ضعيفة بل وتنقبض بـسهولة فـى حالـة الزفير، وبذلك تزداد مقاومة الممرات الهوائية وهى العرض الوحيد لهذا المرض فـى حالة حدته، وزيادة حجم الرئة يزيد من أثر المتبقى من الزفير السابق (FRC) ويبـدو الصدر أكثر إنتفاخا ويبدوا وكأنه برميلى، وفى هذه الحالة يبـدو المـريض وكأنـه لا يستطيع إطفاء شمعة فيذهب إلى طبيبه.

هذا المرض يحدث بشكل نادر لغير المدخنين ولكنه كثيرا ما يحدث بين مـدمنى التدخين.

فى حالة الأزمة الربوية (Asthma) يكون العرض الظاهر فيها هـو صـعوبة الزفير وذلك لزيادة المقاومة فى الممرات الهوائية ويكون بعض هذه المقاومة ناتج من الأستسقاء (swelling) والمخاط (mucous) فى الممرات الهوائيـة الدقيقـة، ولكـن غالبيته سببه يكون من إنقباض العضلات المحيطة بفتحات الممرات الهوائية الكبيـرة، وفى هذه الحالة تكون طواعية الرئة عادية ولكن (FRC) تكون عالية عـن الطبيعـى حيث يبدأ المريض فى الاستنشاق قبل نهاية الزفير السابق.

فى حالة الرئة المتليفة(fibrosis) فإن الغشاء بين الحويصلات الهوائيـة يـزداد سمكه **ويكون لذلك أثرين:**

1. طواعية الرئة تقل.

2. يقل إنتشار الأكسجين فى الأوعية الدموية الشعرية الرئوية.

وفى معظم الأحوال تكون مقاومة الممرات الهوائية طبيعية وغير متأثرة ولكـن المريض يكون مجهد وعنده كرشة نفس وألم فى التنفس وإذا بذل مجهود تكـون دورة

تنفسه قصيرة (shortness of breath)، ويحدث هذا المرض للرئة التـي تتعـرض للإشعاع ومؤثرات أخرى.

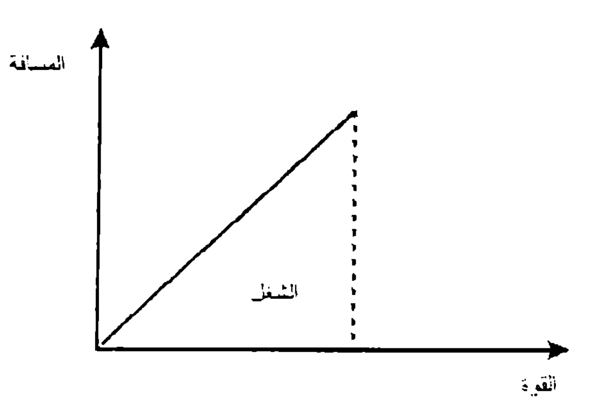
الشغل المبذول فى التنفس Work done in breathing

الشغل المبذول فى عملية التنفس هو الشغل المبذول فى تمـدد الرئـة والقفـص الصدرى والحجاب الحاجز فى حالة الشهيق. وفى دراسة منحنى الضغط والحجم لكـل من الشهيق والزفير حصلنا على خية التخلف (hysteresis loop) والمساحة الداخلية لهذه الخية تتناسب مع كمية الحرارة المنتجة والمفقودة فى عملية التنفس، ونظـرا لأن كمية الحرارة هذه ترتبط بشكل طردى مع الشغل المبذول فإن كمية الـشغل المبـذول يمكن حسابها بمعرفة كمية الحرارة المفقودة **وإستخدام العلاقة:**

$$W = JQ$$

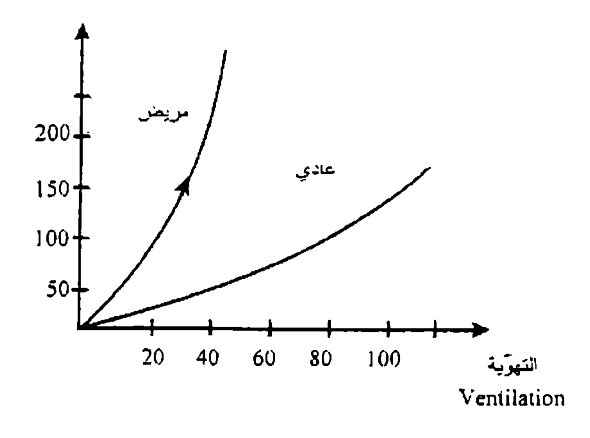
حيث w الشغل المبذول، Q كمية الحرارة المفقودة فى عملية التنفس والتى تحسب من المساحة داخل منحنى الشهيق والزفير، J مكافئ جول.

ويمكن أن نتصور أن الحركة المبذولة فى تمدد القفص الصدرى والرئة والحجاب الحاجز وكأنها حركة يايات مرنة تكون فيها قوة مرونتها F هى القوة المـؤثرة لبـذل الشغل وسعة الذبذبة فى صعود الصدر وهبوطه حال التنفس هـى المـسافة، وبرسـم العلاقة بين القوة والمسافة نحصل على الشكل (11-4) تكون فيه المساحة المظللة هى الشغل المبذول فى عملية التنفس.

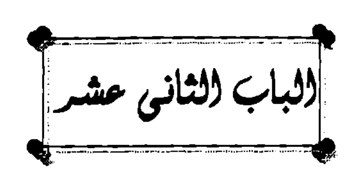


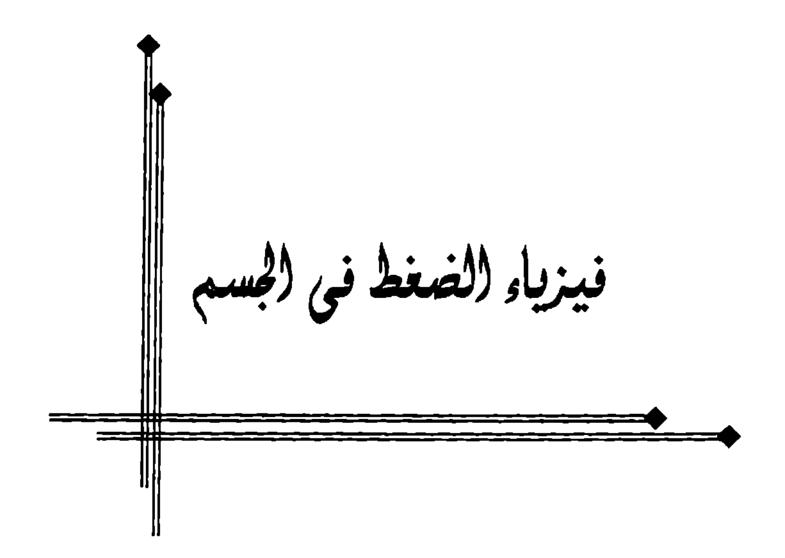
شكل (11-4)

ويمكن حساب الشغل المبذول فى حالة التنفس بحساب كمية الأكسجين المستهلك بشكل زائد فى حالة بذلك مجهود. وكمية الأكسجين المستهلكة تتناسب طرديا مع كمية الحرارة المنبعثة من الطعام المحترق، وكمية الأكسجين المستهلكة بالزيادة فى حالة المجهود وتستخدم فى عضلات التنفس (الرئة، القفص الصدرى، الحجاب الحاجز)، وشكل (11- 5) يوضح كمية الأكسجين المستهلكة لشخص عادى وشخص مريض بإنتفاخ الرئة والمنحنى الممثل للحالة المرضية يوضح إستهلاك كمية إضافية من الأكسجين فى الشغل المبذول فى عملية التنفس بمعدل أسرع وذلك لزيادة التهوية، وذلك لعدم مواكبة كمية الأكسجين لإحتياجات جسمه، وبمعرفة الفرق فى كمية الأكسجين المستهلك يمكن حساب الشغل المبذول.



شكل (11-5)


الباب الثانى عشر


فيزياء الضغط فى الجسم

الباب الثانى عشر

فيزياء الضغط فى الجسم

مقدمة

يعرف الضغط على أنه القوة المؤثرة على وحدة المساحات، ويقاس بوحدة القوة على وحدة المساحات $\left(\frac{\text{نيوتن}}{\text{متر}^2}\right)$ أو $\left(\frac{\text{داين}}{\text{سم}^2}\right)$ والضغط الجوى قيمته $\times 10^5$ $\left(\frac{\text{نيوتن}}{\text{متر}^2}\right)$ والوحدات العملية للضغط فى النظام العالمى (SI) هى البسكال pascal (pa). ويقاس الضغط بمعرفة إرتفاع عمود من الزئبق (Hg) فى الطب، ومثال ذلك أقصى ضغط فى الجسم (peak blood pressure or systolic) هو (120 مم. زئبق) وهذا يعنى أن عمود من الزئبق إرتفاعه هذه القيمة له ضغط عند قاعدته يساوى الحد الأقصى لضغط المريض، وقيمة الضغط الجوى على هذا المقياس (670 مم. زئبق).

ويقاس الضغط تحت عمود أى سائل ويمكن حسابه **بمعرفة:**

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A} = \frac{V.\rho}{A}.g = \frac{h}{A}.A\rho.g = h\rho g$$

حيث p الضغط، F القوة، M كتلة، V الحجم، ρ الكثافة، g عجلة الجاذبية، A المساحة، h إرتفاع عمود السائل، ونظراً لأن كثافة الزئبق (13.6 جرام / سم^2) فإن إرتفاع عمود الماء الذى يعطى ضغط واحد جوى لابد أن يكون طوله مساوياً 670 مم مضروباً فى كثافة الزئبق (كثافة الماء واحد) فإفتراض أن مساحة المقطع ثابتة،

وعندما يكون الضغط المقاس قليل فإن الزئبق يستبدل بسائل آخر كثافته أقل مع مراعاة القاعدة السابقة والأمر يكون سهل إذا كان السائل ماء.

والجسم البشرى به مناطق يكون الضغط فيها أقل من الضغط الجوى أو يكون سالب.

ومثال ذلك يكون الضغط الجوى بالرئة أقل من الضغط الجوى حال الشهيق وإلا ما أندفع الهواء إلى داخل الرئتين، وهو يكون سالب فى هذه الحالة، وعند إمتصاص شئ فإن الضغط فى تجويف الفم يكون سالب وتتناسب قيمة هذا الضغط السالب مع الفارق فى المسافة الرأسية بين الفم والسائل الممتص.

والقلب يعمل كمضخة ليدفع الدم إلى جميع أجزاء الجسم فى الشرايين بضغط يتراوح قيمته فى المدى (140-100 مم. زئبق)، والدم العائد إلى القلب فى الأوردة يكون ضغطه قليل ويحتاج لمساعدة ليعود إلى القلب من الأقدام، ويساعد على ذلك نظام خاص وهو ضغط العضلات وإذا فشل فى تأدية دوره يؤدى إلى ظهور دوالى الساق.

قياس الضغط فى الجسم

Measurement of pressure in the body

قياس الضغط ينحصر فى قياس إرتفاع عمود سائل يعطى ضغط مساويا للضغط المقاس، والأجهزة التى يقاس بها الضغط بناء على هذه القاعدة تسمى مانومترات manometers، والشكل الشائع للجهاز المستخدم أنبوبة على شكل حرف U بها سائل توضع ملتصقة قاعدتها بمانومتر الضغط المراد قياسه.

وعندما يثبت يكون فرق إرتفاع السائل هو القيمة المطلوبة، وهذا النوع يقيس الضغط سواء كان سالب أو موجب، والسائل المستخدم يكون عادة زئبقا أو يكون ماء أو أى سائل آخر كثافته قليلة إذا كان الضغط المقاس ضعيف، ومقياس الضغط المستخدم فى الطب هو الأسفيجومانومتر sphygomanometer ومنه نوعان، أحدهم

يقيس الضغط بإرتفاع الزئبق فى أنبوبة زجاجية، والنوع الآخر يقيس الضغط بتغير شكل إناء مرن يتحرك معه مؤشر يدل على قيمة الضغط، وهناك أجزاء من الجسم تأخذ مؤشر على يتغير الضغط، فالأذن مثلا تستشعر التغير فى الضغط بالزيادة أو النقص من أثر الهواء على طبلة الأذن وكثيرا ما تشعر بهذا عند الارتفاع فى طائرة أو فى مصعد، وحجم الأوردة على ظهر اليد كذلك يؤخذ مؤشر على الضغط وكثيرا ما يلاحظ أحدنا نفور أوردة ظهر اليد، والتجربة فى رفع اليد إلى مستوى أعلى من القلب ترى إنخفاض الضغط كما أن وضع اليد فى أسفل مستوى القلب يرى زيادته.

الضغط داخل الجمجمة pressure inside the skull

يحتوى المخ على (155 سم^3) من سائل الحماية (cerebrospinal fluid (CSF)) موزع فى مجموعة الفجوات المتصلة (ventricles) وتتصل هذه الفجوات ببعضها كما تتصل بقنوات بها نفس السائل حول الحبل الشوكى داخل العمود الفقرى. (aqueduct) وهذه تكون ضيقة، فإذا حدث أنه سدت الفتحة الموصلة بين السائل حول المخ والسائل حول الحبل الشوكى فإن سائل الحماية (CSF) يحبس فى الجمجمة ويزداد ضغطها الداخلى، وهذه الزيادة فى الضغط يؤدى إلى زيادة حجم الجمجمة وتسمى هذه الحالة بإستسقاء الجمجمة (water head or Hydrocephalus)، هذه مشكلة متوسطة الشيوع فى الرضع (Infants) وتعالج جراحيا بإزالة السده أو تغير المسار (by-pass drainage)، ولتشخيص هذه الحالة يقاس محيط الجمجمة فوق الأذن وقيمته العادية للأطفال حديثى الولادة 37-32 سم والقيم الأكبر من ذلك تعنى حدوث حالة الاستسقاء (Hydrocephalus)، أو تستخدم طريقة إنتقال الإضاءة، كما يمكن قياس ضغط الجمجمة بشكل مباشر.

ضغط العين Eye pressure

السائل المائى والجسم الزجاجى الشفافين فى كرة العين والذى عن خلالهما يمر الضوء ليصل إلى الشبكية يكون تحت ضغط ليحفظ على العين شكلها وحجمها، وأبعاد العين دقيقة جدا لتعطى أحسن رؤية والتغير الذى يحدث فى حدود (0.1 مم) فى قطر

كرة العين يكون له أثر كبير على وضوح الرؤية، ولذلك ترى الآثار المشوهة للرؤية عندما نضغط على العين بالإصبع وهى مغمدة.

وضغط العين فى العين الصحيحة العادية يتراوح ما بين (23-12 مم زئبق) والسائل الموجود فى مقدمة العين بين القرنية والعدسة تقريبا ماء، والعين دائما تفرز السائل المائى والزائد منه ينصرف فى القنوات الدمعية (drain system)، فإذا حدث إنسداد جزئى لهذه القنوات فإن ضغط العين يزداد وتؤثر هذا الزيادة على توارد الدم إلى شبكية العين وهذه بدوره يؤثر على وضوح الرؤية.

وهذه الحالة تسمى المياه الزرقاء (Glaucoma) وتعالج فى الحالات البسيطة والمتوسطة بإزالة السدة أو عمل مسار جديد للسائل الزائد، والحالات الحاده ينتظر العفو فيها من الله.

وسابقاً كان يُعن ضغط العين باللمس بالأصابع المدربة، والآن يقاس ضغط العين بالتنومتر (Tonometer).

الضغط فى الجهاز الهضمى

Pressure in the digestive system

المسار الهضمى يمتد فى الجسم بطول 6 متر على شكل ملتو داخل بعضه وبه فتحتان السفلية منه معلقة معظم الوقت، وبالمسار أيضاً إختناقات تساعد على تأدية المهمة مثل الصمامات بين أجزاء المسار والعضلات العاصرة (sphincter) (عضلة دائرية)، والصمامات مصممة لتجعل حركة المحتوى فى إتجاه واحد كما أن العضلات العاصرة تفتح كلما لزم سواء بين المرئ والمعدة (البواب) أو عند نهاية المسار الهضمى، ويمكن عكس الاتجاه فى الحالات الخاصة مثل التقئ (vōmiting or emesis) والحقن الشرجية والضغط داخل المسار أكبر من الضغط الجوى فى معظم المسار الهضمى ((gastrointestinal system (GI)) والضغط فى

منطقة المرئ (esophagus) هو متوسط الضغط بين الرئتين وجدار الصدر وهو عادة أقل من الضغط الجوى، ويقاس الضغط المتوسط هذا (intratharacic) بتعيين الضغط فى المرئ.

وفى حالة تناول الوجبات يزداد الضغط فى المعدة حيث تتمدد جدرانها، ونظراً لأن الزيادة فى الحجم تتناسب مع مكعب نصف القطر (R^3) والزيادة فى قوة الشد (stretching) تتناسب مع نصف القطر (R) فإن الزيادة فى الضغط تكون بطيئة، والسبب المقنع فى هذه الزيادة هو إبتلاع الهواء مع الطعام، وهذا الهواء المبتلع يتسبب فى عملية التجشأ (burping or belching)، وفى المناطق الضيقة الأمعاء (Gut) من المسار الهضمى تتولد الغازات (flatus) بفعل البكتريا وتزيد الضغط، ويزداد الضغط أيضاً فى هذه الأماكن بفعل العوامل الخارجية مثل التحزم والتحلق (خلقات) والطيران والعوم.

والصمام بين المعدة والأمعاء الدقيقة (البواب) (pylorus) يمنع عودة الطعام إلى المعدة وعندما تتكون سدادات فى الأمعاء الدقيقة او الأمعاء الغليظة فإن الضغط بين منطقة السدد والصمام أسفل المعدة يزداد ويسبب نزيف ومضاعفات كثيرة قد تصل إلى الموت وإمرار أنبوبة مفرغة من الأنف إلى المعدة إلى الصمام يؤدى إلى راحة الموقف بتقليل الضغط (الأسطره)، وعندما لا يتحقق أنخفاض الضغط بهذه الطريقة فإن التدخل الجراحى يكون وارد وذلك لأن الغازات المحبوسة تتمدد بسرعة، وتؤدى إلى زيادة الخطورة.

والضغط فى الجهاز الهضمى والرئتان مرتبطان بواسطة الحجاب الحاجز الذى يفصل الجهازين عن بعضهما، وعندما يراد زيادة الضغط فى الأمعاء guts فإن الشخص يأخذ نفس عميق حيث يغلق الرئتين عند الأحبال الصوتية glottis ويقوى عضلات البطن (abdominae muscles).

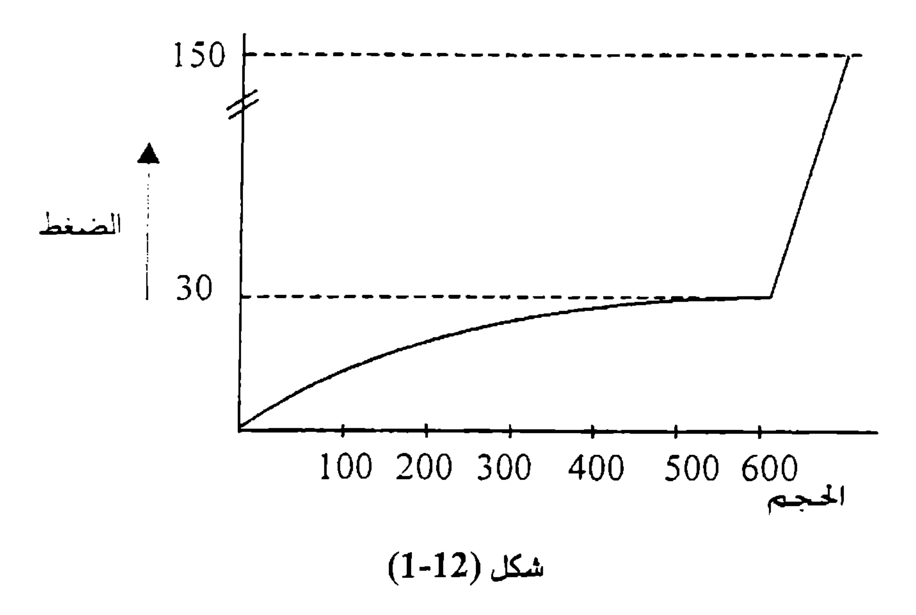
ضغط الهيكل العظمى Pressure in the skeleton

يعتبر أكبر ضغط فى الجسم هو ذلك الموجود عند مفاصل الهيكل العظمى بسبب الأحمال، وأثناء المشى يكون الضغط واقع على رجل واحدة بالتبادل وتصل قيمة الضغط على مفصل الركبة فى هذه الأثناء إلى عشرة أضعاف الضغط الجوى وكلما كانت المساحة السطحية لمفضل الركبة كبيرة كلما قل الضغط (القوة على وحدة المساحات)، والمفصل الطبيعى الصحيح يتمتع بأحسن طرق التزييت (lubrication) ويتحمل أكثر بكثير من المفاصل الصناعية والتى يجف تزيتها بسرعة ولا يعوض ومن حسن الحظ أنه كلما زاد الضغط على المفصل كلما زاد وتحسن معدل التزييت.

والعظام تتأقلم بطريقة تقلل الضغط فأصابع اليد عظامها ليست إسطوانية ولكنها (مبططة) متوازى مستطيلات فى إتجاه القبض وبذلك توزع قوة القبض على مساحة كبيرة وبذلك يقل الضغط على الأنسجة المغلفة للعظام.

الضغط فى المثانة Pressure in the urinary bladder :

نتيجة لتجمع البول فى المثانة يزداد ضغطها، ذلك لكون حجم المثانة يزداد كلما زاد الضغط داخلها وهذا أمر غير معهود، وذلك لكون أى زيادة فى نصف قطر المثانة فإن الحجم يزداد بزيادة R^3 ولكن الضغط يزداد بزيادة R^2 (المساحة)، وهذه هى العلاقة الحاكمة فى منحنى الضغط والحجم فى المثانة وخصوصاً فى الجزء الذى يكون فيه الميل قليل.



شكل (12-1)

والحجم الأقصى للمثانة هو (500 ملى) بعده تشعر بالحاجة إلى التبول (micturition) or (gottago)، عند هذه اللحظة فإن ضغط المثانة يكون فى حدود (150 سم ماء) بينما الضغط العادى للمثانة وهو (35 سم، ماء). والمرضى الذين يعانون من البروستاتا (prostate) يكون ضغط المثانة لديهم فى حدود (100 سم، ماء).

وضغط المثانة يقاس بعمل أسطره مزوده بجهاز صغير لقياس الضغط (Pressure sensor) داخل المثانة من خلال مسار البول، أو بإدخال إبرة بشكل مباشر إلى المثانة من خلال البطن وبهذه الطريقة يمكن أيضا معرفة حالة الصمام (العضلة العاصرة على بوابة المثانة) والتى لا يمكن أن تعطيها طريقة الاسطرة.

وضغط المثانة يزداد فى حالة الكحة الحادة coughing والحزق straining والجلوس المربع (sitting up)، أثناء الحمل يؤدى وزن الجنين إلى زيادة ضغط المثانة والعوامل النفسية مثل الاستعداد إلى الأمتحان قد يؤدى إلى زيادة عند مرات التبول أو على الأقل يؤدى إلى زيارة الحمام بقصد التبول.

تأثير الضغط أثناء الغطس (pressure effects while diving)

يتكون الجسم من أجزاء صلبة وأخرى سائلة غير مضغوطة لذلك فإن التغيرات فى الضغط لا تؤثر على معظمها بشكل كبير إلا أن هناك بعض الفجوات فى الجسم مملوءة بالغازات تتأثر بالتغيرات التى يحدثها الضغط بشكل عميق ويساعد قانون بويل (PV=const) فى فهم ذلك.

والفجوات الموجودة فى الجسم كثيرة منها الأذن الوسطى وحتى يتعادل الضغط الخارجى على طبلة الأذن فإن سريان الهواء داخل قناة استاكيوس يكون لازما وتكون مغلقة ما عدا حالات البلع، والتثاؤب والتكرع (yawning and swallowing chewing)، وفى حالات الغطس كل هذه الحالات غير متاحة ولذلك يشعر كثير من الغطاسين بألم على طبلة الأذن لعدم إمكانية معادلة الضغط الجوى على جانبيها، والغطس على عمق (175 سم ماء) ممكن أن يؤدى إلى ثقب طبلة الأذن حيث يكون فرق الضغط عليها (120 مم. زئبق) وخطورة الثقب تحت الماء البارد يؤثر على الأذن الوسطى فى منقطة الدهليز (vestibular) حيث يؤثر على إتزان الجسم ويسبب دوار البحر (nausea) المصحوب بالدوخة (Dizziness)، والغطاس الماهر يغلق أنفه بيده ويتنفس من فمه حتى يتبادل الضغط ويكرر ذلك كلما لزم، وعندما يتعادل الضغط على طبلة الأذن فإن الغطاس يسمع (بوب POP) من كلا الأذنين، وفى خلال عملية الغطس من الممكن أن تغلق بعض الفجوات التى فى الجمجمةcavities sinus نتيجة للبرد الذى يلاقيه الغطاس ومن ثم لا يتعادل الضغط داخلها مع خارجها ويشعر الغطاس بألم يسمى ألم عصر الفجوات (sinus squeeze) كما أن دموع العين (eye squeeze) قد تنهمر من جراء الحملقة تحت الماء فى حالة عدم إستخدام قناع الوجه، وفى حالة إستعمال القناع فإن هواء الزفير يزيد الضغط على العين كلما إزداد العمق.

والغواصين عندما يكونوا فى الأعماق ثم يتوجهون إلى سطح الماء ويمسكون عن التنفس فإن حجم الهواء داخل الرئة يتمدد إلى الضعف ويزداد الضغط إلى قيم خطيرة فى الرئة فإذا كانت الرئة مملوءة بكل سعتها فإن ضرر كبير يلحق بها، ولذلك يجب على الغطاس إذا كان خروجه من الأعماق سوف يكون سريع أن يوالى عمليات الزفير (exhale) أثناء الصعود حتى يتفادى هذه الأضرار.

والضغط فى الرئة عند أى عمق يكون أكبر من ضغطها عند سطح البحر، هذا يعنى أن الهواء فى الرئة تحت سطح الماء أكثر تكثف more dense وضغطه الجزئى أعلى (الضغط الجزئى لمكونات الهواء)، وهذا يسبب إنتقالاً كبيراً من جزيئات الأكسجين إلى الدم فإذا حدث أن الضغط الجزئى للأكسجين زاد فإن التسمم بالأكسجين يحدث (oxygen poisoning) (عندما يكون الضغط الجزئى للأكسجين 0.8 جوى)، يحدث ذلك تقريباً عند عمق 30 متر. أو عند ما يكون الضغط الجوى أربعة أمثاله على سطح البحر كما أنه عند عمق 30 متر وأكثر فإن تنفس الهواء يكون خطيراً جداً لأن ذلك يؤدى إلى زيادة النيتروجين فى الدم والأنسجة **وهذا يؤدى إلى مشكلتين :**

1. التخدير النيتروجنى (nitrogen narcosis) أو تسمم بذهول (intoxication).
2. تقليل الضغط (Decompression sickness or bends).

وكلاهما يؤدى إلى زيادة النتروجين الذائب فى الدم ثم يصل إلى الأنسجة كلما تعمق الغطاس نظراً لزيادة ضغط الهواء وزيادة الضغط الجزئى للنتروجين.

وعندما يصعد الغطاس إلى السطح فإن النيتروجين الزائد فى الأنسجة سوف يزال من خلال الدم والرئتين وهذه العملية تكون بطيئة فإذا كان الصعود سريعاً فإن حويصلات نيتروجينية تتكون فى الأنسجة والمفاصل وتسبب ألم شديد جداً (The bends are quite painful)، ولعلاج الغطاس المتضرر يوضع فى غرفة ضغطها عال ويقلل الضغط بالتدريج وبالتالى يخرج النتروجين من خلال الدم والرئة بالتدريج.

وقد تحدث مشكلة أخرى عند صعود الغطاس إلى سطح البحر من الأعماق حيث أنه من الممكن أن تنفجر إحدى الأغشية الفاصلة بين الهواء والدم فى الرئـة ويختلط الهواء مباشرتا بتيار الدم (air embolism).

وقد يحدث أن يحتبس الهواء تحت الجلد أسفل الرقبه أو فى وسط الصدر كما أنه قد تنطبق الرئة (pneumothorax or lung collapse) وذلك لهروب الهـواء بـين الرئتين وجدار الصدر والأمر يحتاج فى هذه المشاكل إلى معالج.

العـلاج بزيـادة ضغـط الأكسجيـن

Hyperbaric oxygen Therapy (HOT)

الهواء الجوى الذى نعيش فيه خمسة أكسجين وأربعة أخماسه معظمها نيتروجين، وفى بعض الحالات الطبية يحتاج إلى زيادة الأكسجين التى تمد إلى أنسجة الجسم.

وأسطوانة الأكسجين تخدم ذلك الغرض، ولزيادة سرعة هذا الإمداد بالأكـسجين صممت غرف خاصة يكون فيها ضـغط الأكـسجين عـال (pressure O2 high chamber-hyperbaricor) بعضها يسع المريض وبعضها تصلح لإجراء العمليات الجراحية.

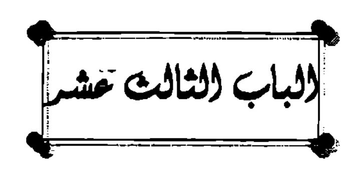
وغرغرينة الغازات (Gas gangrene) مرض كان يقتل نصف ضـحاياه قبـل العلاج بزيادة ضغط الأكسجين ((Hyperbaric O2 Therapy (HOT))، حيـث أن البسلس (bacillus) المسبب للغرغرينا الغازية لا يؤدى دوره ولا ينشط فـى وجـود الأكسجين وعموما كل مرضى الغرغرينا الغازية يعالجون بزيادة ضـغط الأكـسجين دون اللجوء لحالات البتر، (amputation).

وفى حالات التسمم بأول أكسيد الكربون (carbon monoxide) فإن كرات الدم الحمراء لا تستطيع حمل الأكسجين إلى الأنسجة لأن أول أكسيد الكربون أسرع إلـى إحتلال مكانة فى الهيموجلوبين، وحتى وجود جزيئات قليلة من أول أكـسيد الكربـون

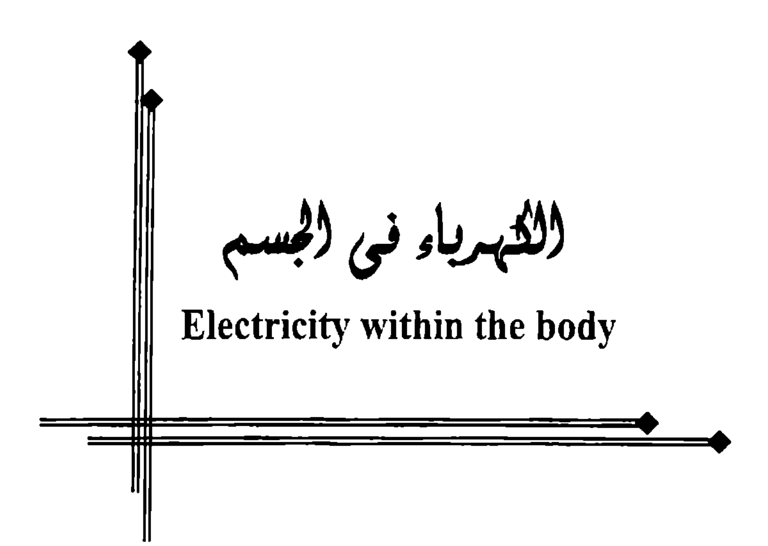
على كرات الدم الحمراء يقلل قابليتها لحمل الأكسجين ونقله، وعادة يذوب 2% من الأكسجين المحمول على كرات الدم الحمراء فى الدم، وبإستخدام (HOT) فإن الضغط الجزئى للأكسجين يزداد بمقدار خمسة عشر مرة وذلك يسمح لكمية من الأكسجين أن تذوب فى الدم وتفى بإحتياجات الجسم وهذه الطريقة تساعد على شفاء كثير من ضحايا تسمم أول أكسيد الكربون.

والعلاج بزيادة ضغط الأكسجين (HOT) يتزاوج مع العلاج بالإشعاع فى علاج أورام السرطان حيث يوضع المريض فى غرفة بلاستيكية شفافة (Transparent plastic tank) ويصوب الإشعاع المشع تجاه الورم فى وجود الأكسجين فى الغرفة المذكورة، والأكسجين ينشط الخلايا السرطانية التى تكون أكثر استجابة للشعاع المشع فتقتل ويفضل أن يكون ضغط الأكسجين فى الغرفة فى حدود 3 جوى الأمر الذى يستلزم متابعة مع ملاحظة علاج طبلة الأذن بعد هذه العملية التى تستغرق فى حدود ساعة بينما يصوب الإشعاع المشع لمدة عشرة دقائق كما يحدده المعالج.

وسلبيات العلاج بزيادة ضغط الأكسجين (HOT) بشكل عام يزيد من أخطار الحريق، ومن الممكن تمزق الغرف البلاستيكية وبذلك يتضرر المريض والطبيب وهيئة التمريض اللازم تواجدهما، إلا أن مثل هذه الأضرار إحتمال وقوعها قليل كما أنها لو حدثت فإن العلاج منها أمر سهل ولا يقارن بعلاج حالات السرطان مثلا.



الباب الثالث عشر



الكهرباء فى الجسم

Electricity within the body

الباب الثالث عشر

الكهـــــربـــاء فــــى الجســــــم

Electricity within the body

مقـــدمـــة :

الكهرباء التى تتولد فى الجسم تستخدم فى التحكم وتشغيل الأعصاب والعـــضلات والأعضاء فى الجسم كله، والقوى المحركة للعضلات سببها تجاذب وتنافر الـــشحنات الكهربية والفعل الأساسى فى المخ تحركه الكهرباء، والإشارات من وإلى المخ تـــدلل على سريان تيار كهربى، والجهاز العصبى (system nerves) لـــه دور فـــى كـــل المهمات التى يؤديها الجسم، حيث تنتقل المعلومات على شكل نبضات كهربية خـــلال الأعصاب المختلفة وهذه العملية تؤدى بأسرع ما يمكن وبأدق ما يمكن فى أقل وقـــت ممكن وبأكبر كم وبأعلى كفاءة ممكنة.

وتتولـــد الإشـــارات الكهربيـــة (electric signals) فـــى التفـــاعلات الكهروكيميائية التى تتم فى خلايا خاصة من الجسم.

الجهاز العصبى والخلية العصبية

The nerves system and neuron

الجهاز العصبى جزئين:

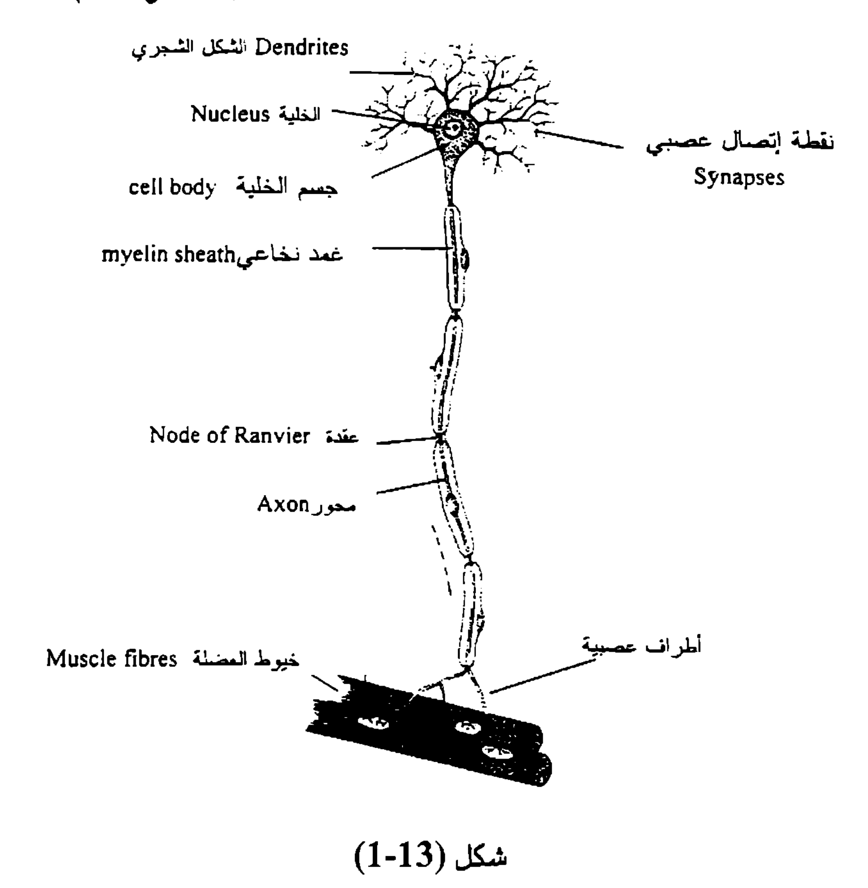
1. **الجهاز العصبى المركزى (central nerves system(CNS))**: ويتكـــون مـــن المخ (brain)، النخاع الشوكى (spinal cord) أو الحبـــل الـــشوكى، الأعـــصاب السطحية peripheral nerves-nerve filers (neurons) وهى التـــى توصـــل

المعلومات إلى المخ أو النخاع الشوكى وتسمى بالأعصاب الناقلة (sense nerves afferent)، والخيوط العصبية (fibres nerve) وهى توصل المعلومات من المخ أو من النخاع الشوكى إلى العضلة المعنية أو الغدة المعنية وتسمى (efferent nerves).

2. **الجهاز العصبى اللاإرادى automatic nerves system**: وهو الذى يتحكم وينظم حركة الأعضاء التى تعمل بشكل غير إرادى مثل القلب (Heart)، الأمعاء (intestines)، الغدد (glands) والتنفس (respiration).

ويحمى المخ ثلاثة أغشية مختلفة بالإضافة إلى عظام الجمجمة فضلاً عن أنه عائم فى سائل ماص للصدمات (shock-absorbing cerebrospinal fluid [CSF]) وكتلة المخ فى حدود (1300-1500 جرام) إلا أن طفوه فى السائل المذكور يعطى إحساس بأن كتلته أقل بكثير وفى حدود 60 جرام، ويتصل المخ بالنخاع الشوكى (وهو كذلك محاط بـــ [CSF]) ويحميه العمود الفقرى (spinal column).

ووحدة البناء الأساسية فى الجهاز العصبى هى الخلية العصبية (neuron) شكل (13-1) يوضح خلية متخصصة فى إستقبال وتفسير ونقل الرسائل الكهربية (electrical messages) والخلية العصبية تتكون من جسم الخلية (cell body) وهو الذى يستقبل الرسائل الكهربية من خلية عصبية أخرى خلال نقاط إتصال عصبية (synapses) موزعة على أطراف الشكل الشجرى للخلية (dendrites) وهذا الأخير مسئول عن إستقبال المعلومات من المؤثر (stimuli) أو من خلية أخرى، فإذا كان المؤثر بالقوة الكافية فإن الخلية العصبية تنقل إشارة كهربية (electrical signal) إلى خارجها من خلال خيط عصبى يسمى المحور (axon)، هذا المحور أو الخيط العصبى قد يصل طوله إلى واحد متر يوصل الرسالة إلى العضلات أو إلى خلية عصبية أخرى.



شكل (13-1)

جهد الغشاء المنفذ The membrane potentials :

جدار الخلية الحيوانية عبار عن غشاء رقيق يتكون من طبقتين من البروتين بينهما طبقة من الدهون وسمك كل طبقة فى حدود 30 انجستروم وبذلك يكون سمك الغشاء فى حدود 90 انجستروم، وجدار الخلية يفصل بين منطقتين تحويان أيونات مختلفة سائلة ففى خارج هذا الغشاء يوجد أيونات الكلور (cl^-) والصوديوم (Na^+) بتركيز كبير بينما فى داخل الخلية يتواجد أيونات البوتاسيوم بتركيز عال K^+ ، هذه الأيونات تنتشر خلال مسام الغشاء المنفذ بمعدلات تختلف بحسب نوع الأيونات، وبالأضافة إلى هذه الأيونات الثلاثة الأساسية فإنه توجد أيونات أخرى سالبة لعناصر

مثل الفوسفات، الكربونات وأيونات مواد عضوية فى داخل الخلية وخارجها، وهذه الأيونات السالبة أحجام جزيئاتها كبيرة عن أقطار المسام ولذلك يهمل دورها فى الانتشار من خلال جدار الغشاء المنفذ، كما أن الصوديوم والكلور يوجد داخل الخلية بشكل أيونى ولكن بتركيز قليل وكذلك البوتاسيوم يوجد خارج الخلية بتركيز قليل.

وتركيز البوتاسيوم (K^+) داخل الخلية أكبر من تركيزه خارجها بمقدار 30 مرة فإذا تمكنا من ضخ (K^+)خلال الغشاء المنفذ بمعدلات متساوية فى الاتجاهين فإن الفرق فى التركيز على جانبى الغشاء يكون صفراً وبالتالى لا يوجد ميل فى التركيز (Concentration gradient)، ولذلك يوجد على جانبى الغشاء شحنات غير متماثلة تؤدى إلى وجود فرق جهد فى حدود 70 مللى فولت وهذا الجهد يساعد على وجود إختلاف فى تركيز نفس نوع الأيونات داخل وخارج الخلية (ميل فى التركيز) وفرق الجهد (V) الذى يؤدى إلى توازن نسبة تركيز الأيونات على جانبى الغشاء عند درجة حرارة 310 k يعطى بالعلاقة Nernst equation.

$$V = V_i - V_e = -60\log\left(\frac{c_i}{c_e}\right) \text{ MillVolt}$$

حيث V_e الجهد خارج الخلية، V_i الجهد داخل الخلية، C_i تركيز الأيونات المعنية داخل الخلية، C_eتركيز نفس الأيونات خارج الخلية.

فإذا كانت التركيزات داخل وخارج الخلية لأيون معين فى حالة إتزان فإن فرق الجهد على غشاء الجدار المنفذ يكون فى حدود 70- مللى فولت فى حالة أيونات الكلور وبالتالى ينتشر الكلور داخل وخارج الخلية بنفس المعدل، وهذا الجهد فى حالة أيونات الصوديوم يكون فى حدود (+60) مللى فولت وهذا الفرق فى الجهد بعيد عن القيمة 70- مللى فولت، وبالتالى تنتشر أيونات الصوديوم من خارج الخلية إلى داخلها فى إتجاه الأقل تركيز، وفرق الجهد هذا فى حالة أيونات البوتاسيوم يكون فى حدود -90مللى فولت وهو ليس بعيد عن الجهد الفعلى على جانبى الغشاء وبالتالى تنتشر أيونات البوتاسيوم من داخل الخلية إلى خارجها فى إتجاه التركيز الأقل.

فإذا كانت عملية الانتشار هى العملية الحاكمة الوحيدة فإن أيونات الصوديوم تتحرك داخله إلى الخلية وأيونات البوتاسيوم تتحرك خارجه من الخلية، وتظل العملية كذلك حتى يحدث إتزان، ولكن هذا لا يحدث حيث أن عمليات نقل نشطة تحدث لكل من (Na^+)،(K^+) خلال الغشاء فى تفاعل كيمياء نشط يسمى sodum-potassium pump ويؤدى إلى حقن (Na^+)خارج الخلية، (K^+) داخل الخلية وذلك عكس ما هو معروف وهذه العملية تحتاج إلى طاقة وتستمد من عملية البناء فى الخلية (metabolic process in the cell).

وعملية الضخ هذه لأيونات البوتاسيوم إلى داخل الخلية لا تكون حادة وذلك لكون فرق الجهد لأيونات البوتاسيوم قيمته (90-) مللى فولت وهى قريبة من الجهد الفعلى على جانبى الغشاء المنفذ (70-) مللى فولت وبالتالى ما تلبث أيونات البوتاسيوم أن تدخل الخلية إلا وترغب فى الخروج منها ولكن بشكل هادئ رغبة منها فى العودة إلى حالة الاتزان، أما فى حالة أيونات الصوديوم فإن فرق الجهد لها يكون (60+) مللى فولت وهى قيمة كبيرة فى مواجهة الجهد الفعلى للغشاء (70-) مللى فولت، وعلى ذلك يكون ضخ أيونات البوتاسيوم ضعيف بالنسبة لضخ أيونات الصوديوم، ونظراً لأن الغشاء المنفذ سمكه قليل فإن المجال الكهربى عليه يكون كبير جدا.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{0.070}{9 \times 10^{-1}} = 7.8 \times 10^{6}\, volt/meter$$

وهذا يُعتبر مجال كهربى كبير جداً، إلا أنه يتحقق بقدر قليل من الأيونات وتكون شحنتها فى حدود 3.0×10^{-13} كولوم، ويكون عدد الشحنات المسببة لذلك فى حدود 2×10^{6} شحنة وهى قليلة جداً إذا ما قورنت مثلاً بعد شحنات أيونات البوتاسيوم K^+ الموجودة فى وحدة الحجوم (9×10^{10}) شحنة أى أن أيون واحد لكل 50.000 أيون من أيونات البوتاسيوم داخل ينتقل من داخل الخلية إلى خارجها يؤدى إلى وجود قيمة المجال المذكورة، وهى ناتجة عن قيمة الجهد الفعلى وهى (70-) مللى فولت والمسمى بجهد السكون (Resting potential) أو جهد الغشاء المنفذ.

الجهد الكهربى للأعصاب Electrical potentials of nerves

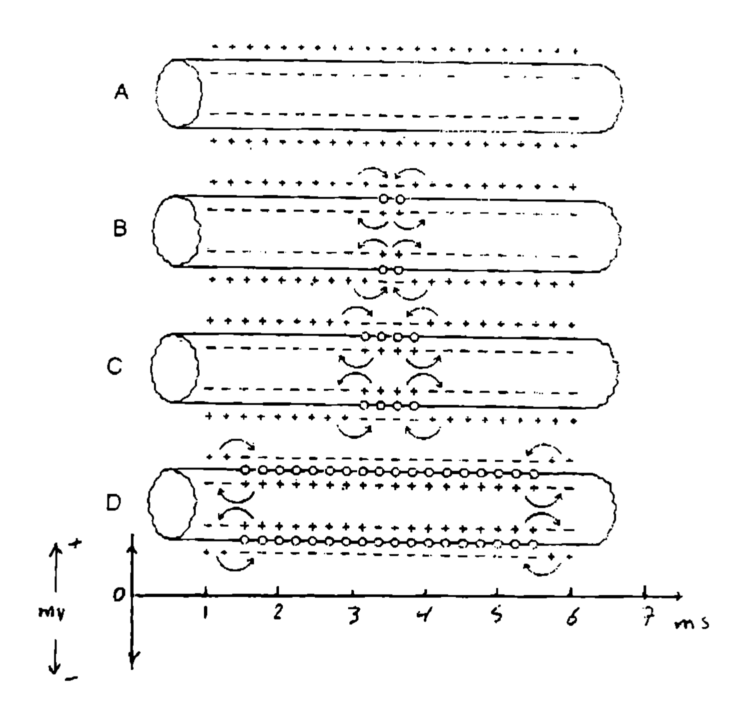
مما سبق نعلم أنه يوجد حول جدار (غشاء) كل خلية عصبية فرق جهد كهربى ناتج من وجود أيونات عالية السالبة (more negative) داخلها عن خارجها وتكون الخلية تحت هذه الظروف مستقطبة (polarized) ويكون الجهد السالب داخلها (فى المدى 85-55 مللى فولت) أعلى من خارجها، ويسمى هذا الفرق فى الجهد بفرق جهد السكون (resting potential) للخلية. وعند إثارة الخلية العصبية يحدث تغير لحظى فى جهد السكون عند نقطة الإثارة.

هذا التغير فى الجهد يسمى جهد الحدث (action potential) وهو ينتشر على طول المحور العصبى (axon) ويعتبر جهد الحدث هذا أهم طريقة لنقل الإشارات الكهربية خلال الجسم، وتحدث الإثارة بطرق عديدة مثل التسخين،التبريد، الضوء، الرائحة، والإثارة الميكانيكية. وإذا كانت الإثارة كهربية فإن 20 مللى فولت تكون كافية لإحداث جهد الحدث.

ويمكن تخيل فكرة جهد السكون بوضع سائل (kcl) مختلف التركيز فى إناء واحد بحيث يفصل التركيزين غشاء منفذ لأيونات البوتاسيوم من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ولا ينفذ أيونات الكلور، وبذلك تنفذ أيونات البوتاسيوم من الجانب الأعلى تركيزا (H) إلى الجانب الأقل تركيزا (L) وتستمر عملية الأنتشار هذه حتى يتساوى تركيز K^+ على الجانبين وتصل إلى حالة إتزان عند ذلك الشحنات الموجبة K^+ زادت فى الجانب الأقل تركيز وتكون الشحنات السالبة زادت فى الجانب الأكثر تركيز ويكون فرق الجهد بين جانبى الغشاء المنفذ هو جهد السكون (resting potential) ويكون ذلك فى حدود (80-) مللى فولت حول جدار المحور العصبى axon للخلية العصبية.

فإذا فرض أن لدينا محور عصبى axon كما فى الشكل (13-2) وأثير طرفه (الأيسر) فإن جدرانه تصبح منفذه لأيونات الصوديوم (Na^+) التى تدخل فيه وتعكس إستقطابه (depolarized)، وبالتالى يصبح داخله موجب لحظيا (50 مللى فولت) عند

نقطة الإثارة ونظرا لأن الأيونات الموجبة للصوديوم (Na^+)داخل المحور العصبى يجاورها الأيونات الأصلية السالبة وهى الأكثر كثافة فإنه بفعل قانون الجذب (قانون كولوم) تنتقل أيونات الصوديوم إلى جهة اليمين من جزء آخر وهكذا يتم إنتشار جهد الحدث على طول المحور العصبى حتى يصل إلى هدفه وبذلك تنتقل الإشارة الكهربية أى تنتقل الرسالة حيث ينعكس إستقطاب كل جزء تصل إليه الرسالة. أما عند نقطة الإثارة الأصلية فإنها تعود إلى ما كان عليه من إستقطاب أى يعود داخلها أكثر سالبية من خارجها ويكون فرق الجهد مرة أخرى فرق جهد السكون (Resting potential).



شكل (13-2)

وجهد الحدث هذا زمن ظهوره فى موقع ما لا يتعدى أجزاء قليلة من الثانية (مللى ثوانى) حيث ينتقل بسرعة فائقة من نقطة إلى أخرى على طول المحور العصبى axon الذى يوصله إلى خلية أخرى أو إلى عضلة أو إلى غدة حسب الأوامر، إلا أن

زمن ظهور جهد الحدث لعضلة القلب يستمر زمن أطول ويكون فى حدود 300-150 مللى ثانية.

والمحور العصبى (axon) للخلية العصبية نوعين حيث يكون جدار أحد النوعين مغطى بغطاء دهنى يعمل كطبقة عازلة من مادة نخاعية (myelin) غير متصلة يتخللها مناطق عارية من الغطاء تسمى عقد (nodes) أو عقد رينوفر (of ranvier nodes) ويسمى هذا النوع بالعصب المعزول (nerves myelinated)، أو العصب المغمد.

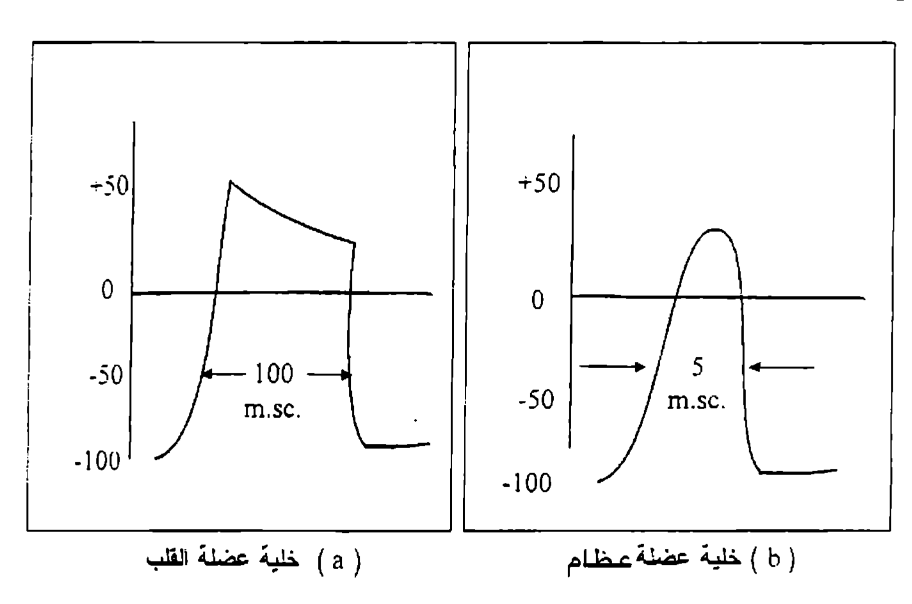
والنوع الآخر هى المحاور العصبية الغير مغمده (unmyelinated nerves) والنوع المعزول يوصل الإشارات الكهربية من موضع إلى موضع بشكل أسرع وهو النوع الشائع فى البشر، والمادة العازلة جيدة العزل فضلا عن أن سعتها الكهربية قليلة (low electric capacity) وجهد الحدث أثناء إنتقاله خلال المحور العصبى يقل بزيادة المسافة أى سعة نبضة جهد الحدث تقل بالتدريج إلا أنها عند (عقد رينوفر) تعمل بشكل أنشط وتستعيد قوتها وشكلها، وبذلك يرى جهد الحدث بشكل شراره وكأنه ينتقل من عقدة إلى أخرى على شكل قفزات (salutatory) ويسمى بالتوصيل القفزى (salutatory conduction).

والعوامل المؤثرة على سرعة الأنتشار جهد الحدث action potential هى:

1. المقاومة الكهربية لمادة الغشاء (جدار المحور العصبى).
2. السعة الكهربية لمادة الغشاء أو بمعنى آخر كم الشحنات الكهربية المخزنة على الغشاء.

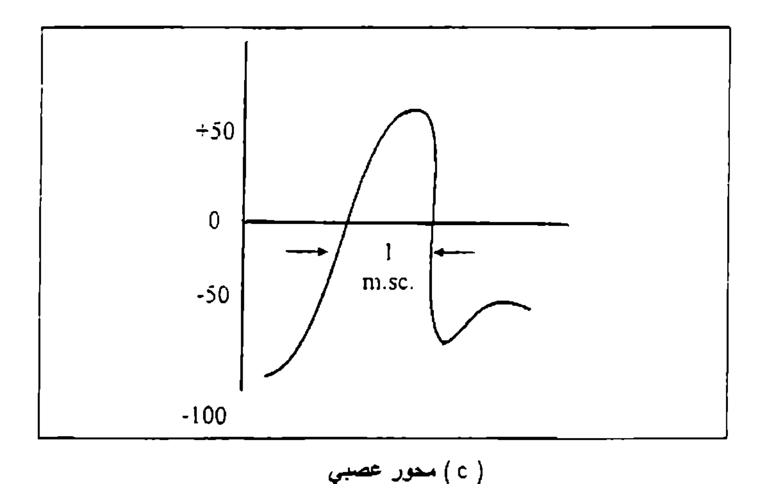
ونقصان كل من المقاومة الكهربية والسعة الكهربية يزيد من سرعة إنتشار جهد الحدث، والمقاومة الكهربية للمحور العصبى تقل بزيادة نصف قطره، كما أنه كلما قلت الشحنات الكهربية على سطح جدار المحور العصبى كلما كان عكس إستقطابها أسرع، ومن ثم تزداد سرعة إنتشار جهد الحدث وتلك خواص المحور العصبى المعزول.

ويمكن تواجد عدد عديد من المحاور العصبية المعزولة فى أقل حيز ممكن دون أى أثر لفقدان جهد الحدث من أى منهما لكونها معزولين وبذلك تتواجد الأعصاب على شكل حزم فى أضيق حيز ممكن (حوالى 10.000 محور عصبى معزول قطر كل منهم 10 ميكروميتر فى حيز قدره 105 مم^2 وشكل (13-3) **يوضح جهد الحدث لأجزاء مختلفة:**



(a) خلية عضلة القلب

(b) خلية عضلة عظام



(c) محور عصبي

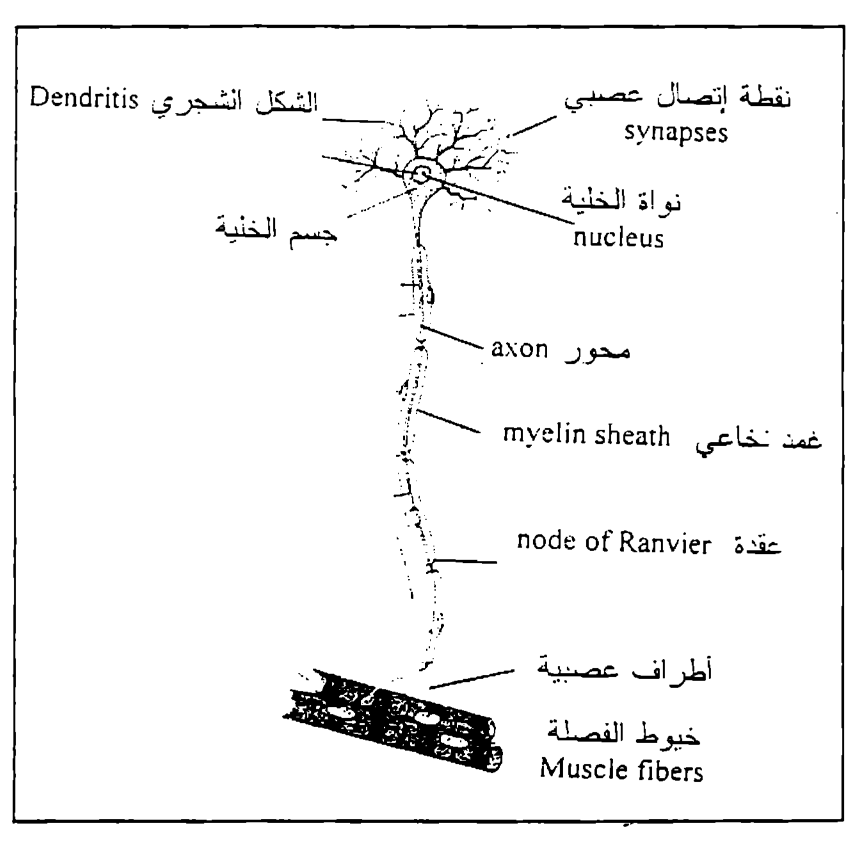
شكل (13-3) الشكل الموجى لنبضة الحدث

النبضات الكهربية من العضلات

Electrical signals from muscles

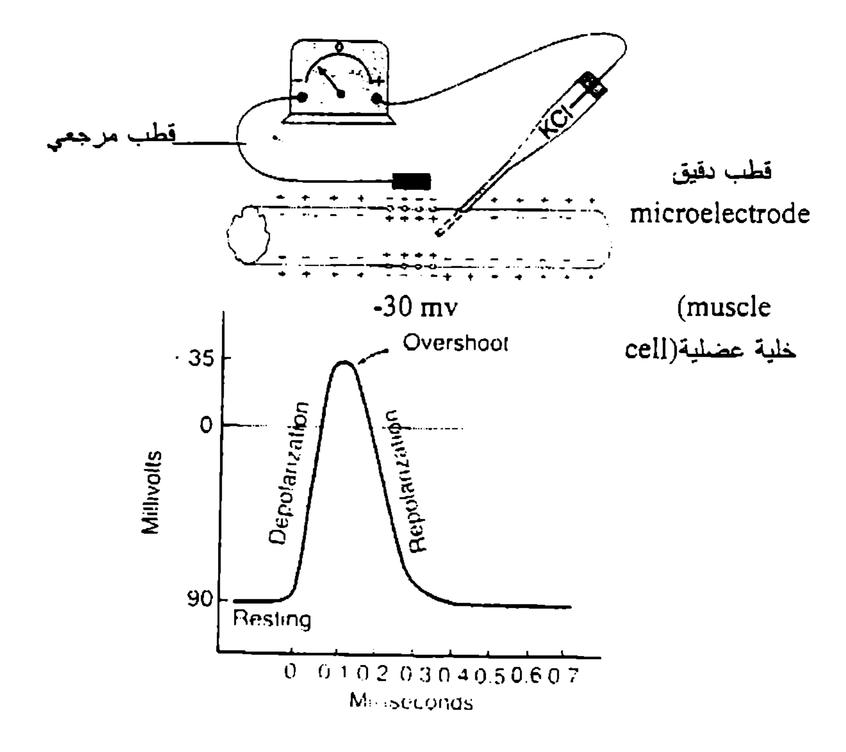
المخطط الكهربى للعضلة: The electromyogram (EMG)

عند إتصال أحد أطراف الخلية العصبية بأى عدد من خلايا عضلة فإن ذلك يكون ما يسمى بالوحدة المحركة motor unit، والشكل (4-13) يوضح خلية عصبية من الحبل الشوكى إتصل أحد أطرافها بعدد عديد من الخيوط العضلية مكونة وحدة محركة (يصل عدد الخيوط العضلية إلى 2200 خيط).



شكل (4-13)

وجهد السكون في الخيوط العضلية يساوى جهد السكون فى المحاور العصبية (axon) وعند إتصال المحور العصبى بالعضلية شكل (13-4) وينتقل إليها جهد الحدث (Action potential)، والذى يمكن قياسه بإدخال قطب دقيق جدا (micro electrode) فى خلية جدار العضلة، ويفضل قياسه بهذه الطريقة إلا أن إستخدام قطب مسطح يوضع على سطح العضلة يكون أسهل مع الأحتفاظ بالقطب الثانى فى الوسط حول العضلة، وشكل (13-5) يوضح الدائرة الكهربية المستخدمة فى قياس جهد الحدث لخلية عضلة جهد سكونها (65-) مللى فولت وجهد الحدث فيها 30 مللى فولت ونبضة جهد الحدث موضحة على راسم الذبذبات الكهربائى (CRT).

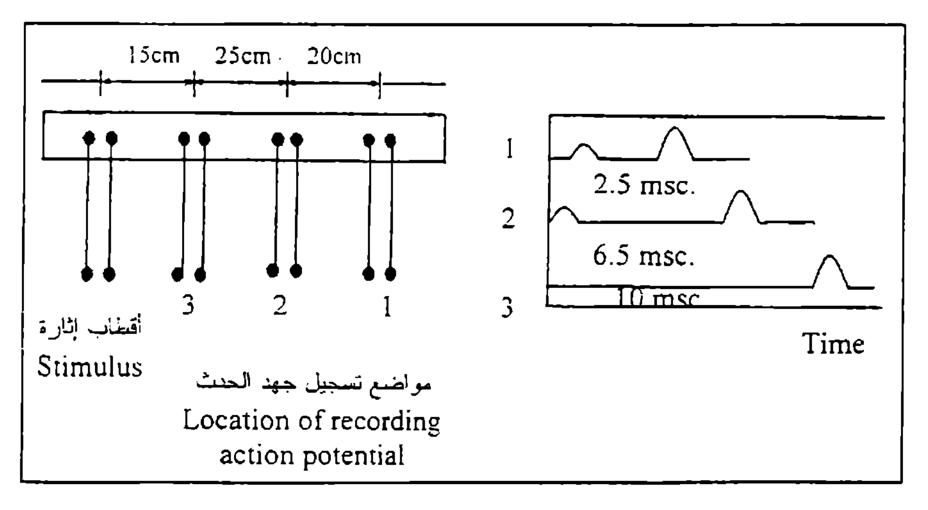


شكل (13-5)

حيث يوضح شكل النبضة (Electromyogram) (EMG)، وجهد الحدث (action potential) للعضلات يعتبر وسيلة للتشخيص حيث يكون معروف شكل ومقدار الجهد لعضلة ما فى حالتها الطبيعية، ثم يعاد رسم جهد الحدث مرة أخرى لنفس

العضلة بعد أن خضعت لظروف أضرت بها ومن المقارنة يراعى الفرق فى تشخيص العلاج.

ولتعيين سرعة إنتشار جهد الحدث (velocity of propagation of) (action potential) يمكن إثارة الخلايا كهربيا فى موضع ثم إلتقاط جهد الحدث بالطريقة السابقة عند عدة مواضع معروف بعدها عن بعضها وعن موضع الإثارة، وبمعرفة الزمن المستغرق من وقت الإثارة وحتى ظهور نبضة جهد الحدث (Latency period) فإنه يمكن تعيين سرعة الانتشار هذه كما فى شكل (6-13).



شكل (6-13)

وقد وجد أن سرعة إنتشار جهد الحدث تكون فى المدى 55- 35 متر/ ثانية وإذا قلت هذه السرعة إلى 10 متر/ ثانية فإن ذلك يدل على وجود مشكلة. وتسجيل نبضات جهد الحدث لعضلة ما (EMG) يعطى فرصة لدراسة خواص العضلة حتى نقيها الوصول إلى حد الإعياء من أداء المهمة ولا تصل بها إلى الحدود المنهكة (fatigue characteristic)، وأشد العضلات فى الجسم البشرى يمكن إثارتها كهربيا فى المدى الترددى 15-5 ذبذبة/ ثانية وقد وجد أن الأعصاب الطبيعية تتأثر قليلا بإعادة الإستثارة وخصوصا إذا كان زمن الإستثارة يزداد، إلا أن زمن الاسترخاء بين الاثارتين يخفف من ذلك.

وقد وجد أن العضلات التى تؤدى واجبها بشكل دائم ومتكرر قد تصاب بمرض ضعف العضلات (muscular weakness) بمرور الزمن وذلك يسمى وهن العضلات (myasthenia gravis)، ويمكن توقى الإصابة منه بقياس جهد الحدث (action potential) على فترات حتى إذا لوحظ تغير عن القيم الطبيعية له وصف العلاج الناجع فى ضوء قراءة (EMG) وتفسيره.

النبضات الكهربية للقلب

Electrical signals from the heart

The electrocardiogram (ECG) : المخطط الكهربى للقلب

القلب يتكون من أربعة غرف فى طابقين الطابق العلوى يحتوى الأذينين الأيسر والأيمن، والطابق السفلى البطنين الأيسر والأيمن، والأذينين منضبطان synchronized لينقبضان فى وقت واحد simultaneously.

والأذين الأيمن يستقبل الدم الوريدى من الجسم ويضخه إلى البطين الأيمن الذى يضخه بدوره إلى الرئتين حيث يحمل بالأكسجين النقى ثم يعود إلى الأذين الأيسر فينقبض ليدفعه إلى البطين الأيسر الذى ينقبض ويضخه إلى الدورة الدموية فى الجسم ثم تعيده الأوردة إلى الأذين الأيمن وهكذا.

وهذا الفعل الإيقاعى (Rhythmical action) للقلب تحكمه النبضات الكهربية التى تتولد لحظيا بإثارة stimulation خلايا عضلية خاصة موجودة فى الأذين الأيمن هذه الخلايا هى المكون الأساسى لضابط النبضات فى الأذين الأيمن (pacemaker or sinoatrial (SA) node) وضابط النبضات هذا يتقد (fire) بشكل منتظم وعلى فترات زمنية متساوية خمسة وسبعون مرة فى الدقيقة، ويمكن زيادة معدل الإنقاذ أو نقصانه بناء على طلب زيادة أو نقصان الدم بواسطة الأعصاب المتصلة بالقلب أو بناء على أية إثارة أخرى، والنبضات الكهربية من الضباط (SA) تسبب عكس إستقطاب الأعصاب والعضلات فى كل من الأذينين الأيمن والأيسر فينقبضان وتضخان الدم إلى البطينين الأيمن والأيسر على الترتيب، ثم يعاد إستقطاب الأذينين.

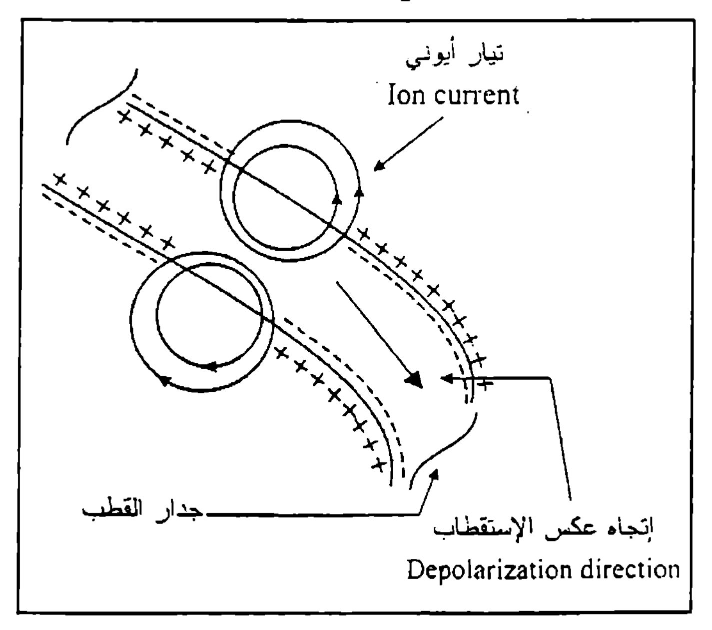
عند ذلك تصل الإشارة الكهربية إلى ضابط عكس إستقطاب البطينين (artioventrical (AV) node) الذى يعكس إستقطاب البطينين فينقبضان ويدفع بالدم

إلى كلا من الرئتين بواسطة البطين الأيمن وإلى الدورة الرئيسية بالجسم من البطين الأيسر بعد ذلك يعاد إستقطاب البطينين إلى ما كان عليه وتتكرر العملية تباعا.

ويمكن إعتبار أعصاب وعضلات القلب وكأنها مصدر للكهرباء مدفون فى موصل كهربى هو جدار القلب (torso).

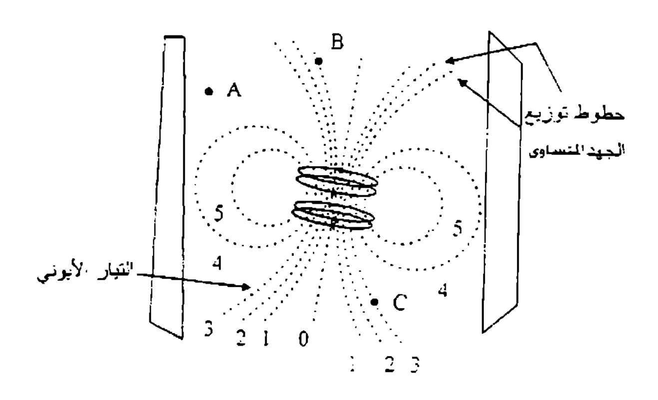
والقياسات الكهربية التى تعطى معلومات تفيد فى التشخيص لا يمكن قياسها مباشرة على عضلة القلب وإنما تقاس على نقاط مختلفة من سطح الجسم. وبذلك يقاس الجهد الكهربى المتولد بواسطة القلب ويسجل، والخريطة التى تحصل عليها من تسجيل جهد القلب من على سطح الجسم تسمى بالمخطط الكهربى للقلب (ECG) (Electrocardiogram).

والعلاقة بين عملية الضخ (pumping) التى يقوم بها القلب والجهود الكهربية على سطح الجسم (الجلد) تتضح فى إنتشار جهد الحدث (action potential) فى جدران القلب وذلك لكون أن التيار الكهربى السارى فى جدران القلب (torso) يعطى فرق جهد (potential drop) على مقاومة جدران القلب كما فى شكل (7-13) الذى يوضح سريان التيار الأيونى كما يوضح إتجاه عكس الاستقطاب (Depolarization).



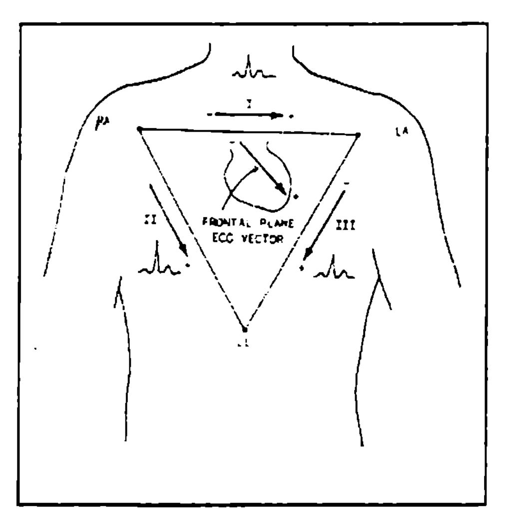
شكل (7-13)

والتيار الأيونى هذا هو الذى يوضح جهد الحدث حيث يمر فـى جـدران القلـب فيعطى فرق الجهد (جهد الحدث) ومن ثم تتغير القطبية فيصبح داخل الجـدار موجبـة بدلا من سالبة وبذلك يتم عكس الأستقطاب ويحدث الانقباض. والتيار الأيونى السارى فى جـدران القلـب والمـؤدى إلـى عكـس الاسـتقطاب بظهـور جهـد الحـدث (action potential) يـؤدى إلـى فكـرة خطـوط توزيـع الجهـد بالتـساوى (Equipotential lines) على القلب كله وذلك عندما يكـون البطينـين تـم عكـس إستقطابهما بنسبة 50%، وهذه الفكرة تؤدى إلى تخيل أن القلب عبارة عـن مـزدوج قطبى (electric dipole) فيه (عند النسبة المـذكورة) الـشحنات الـسالبة تـساوى الشحنات الموجبة وعزم المزدوج القطبى له مقدار وله إتجاه وكلاهما يختلفان من وقت إلى آخر والجهد الكهربى الذى يقاس من على سطح الجسم هو فى حقيقة مسقط عزم متجه المزدوج القطبى للقلب ونظرا لأن هذا المتجه يتغير من وقت إلـى آخـر فـإن مسقطه يتغير وبالتالى يتغير الجهد المقاس وشكل (13-8) يوضح خطوط توزيع الجهد بالتساوى على الصدر عند لحظة عكس إستقطاب البطينـين 50%، حيـث A، B، C مواضع الأقطاب التى تلتقط جهد الحدث حيث يكون بين B، C فى حـدود 3 مللـى فولت، بين A، B فى حدود 1 مللى فولت، والأقطاب السطحية المستخدمة لإلتقاط جهد الحدث لتسجيل المخطط الكهربـى للقلـب Electro cardiogram (ECG) إعتـاد الأطباء وضعها على الذراع الأيسر (LA)، والذراع الأيمن (RA) والرجل اليـسرى (LL)، ويمكن تغيرها حسب الموقف الطبى لتكون أكثر قربا من القلب أو أكثر بعـدا عنه.



شكل (13-8)

وقياس الجهد بين (RA)، (LA) يسمى بالطرف الأول Lead (I) وقياسه بين (RA)، (LL) يسمى بالطرف الثانى Lead (II) وبين (LA)، (LL) يسمى بالطرف الثالث Lead (III)، وتسمى الثلاثة أطراف بالأطراف القياسية The standard limb leads، والجهد المقاس بين أى طرف يعطى السعة والاتجاه النسبيين لمتجه المزدوج فى المسقط الأمامى (frontal plane) كما فى شكل (13-9) ويمكن أن تمثل بأضلاع مثلث كل ضلع يمثل طرف وفى نفس الوقت يقع عليه مسقط متجه المزدوج القطبى للقلب.



شكل (13-9)

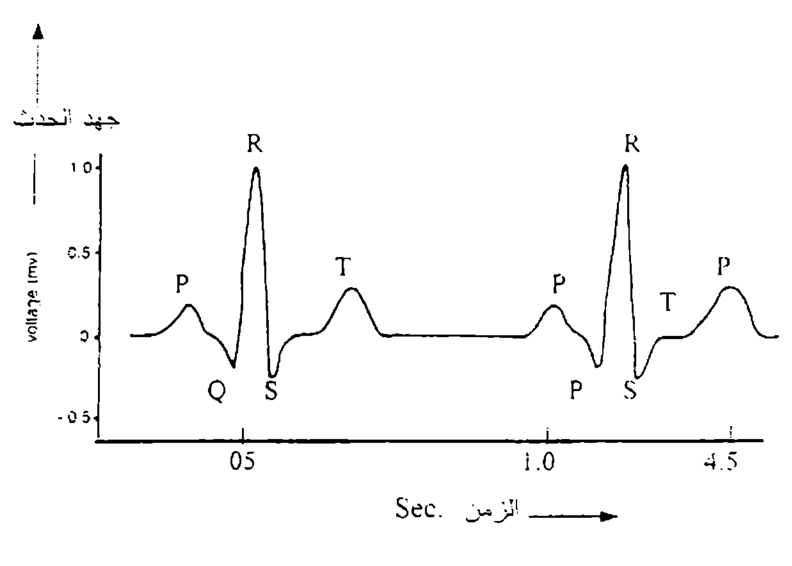
والمخطط الكهربى للقلب الذى نحصل عليه بالطرق السابقة يوضح مسقط متجه المزدوج القطبى للقلب أو النشاطية الكهربية للقلب (the heart of Electrical activity) والشكل (13-10) يوضح المخطط الكهربى للقلب (ECG) **وعليه تظهر المعلومات الأساسية التالية:**

1. تمثل الموجة P عكس الأذينين (Ortial depolarization).

2. إعادة الاستقطاب للإذينين فى الجزء من نهاية الموجة P وقبل (Q،Repolarization).

3. تمثل الموجة QRS عكس إستقطاب البطينين (موجة مركبة).

4. الموجة T إعادة إستقطاب البطينين.



شكل (13-10)

ومن تفسير المخطط (ECG) يمكن التعرف على أن إيقاع نبضات القلب متسق (Rhythmical action) أو غير متسق (arrhythmical action) وفى حالات العناية المركزة لأمراض القلب أو أثناء العمليات الجراحية يكون المخطط الكهربى للقلب (ECG) موضح بشكل دائم حتى تكون نشاطية القلب الكهربية أمام القائم بالعلاج المكثف أو الجراح فى غرفة العمليات، فإذا ما لوحظ أن نشاطية القلب تنحرف عن الطبيعى يبدأ فورا فى تصحيح المسار. وعلى سبيل المثال إذا ما لوحظ ما يفيد وجود جلطة فى القلب Heart block فإن ذلك يكون معناه أن ضابط النبضات (SA node) لا تصل إشارته الكهربية إلى البطين وعلى ذلك يكون المتحكم فى نبضات القلب هو ضابط عكس إستقطاب البطين (AV node) وتلك تتم بتردد قدره من 30 إلى 50 دقة/ دقيقة، وهذا يعتبر ضعيف وأقل من الطبيعى (70-80 دقة/ دقيقة) وهذه الجلطة تجعل

المــريض فـــى غيبوبـــة (semi-invalid) وإســتخدام ضـــابط نبــضات صـــناعى (implanted pacemaker) يساعده على حياة طبيعية.

النبضات الكهربية للمخ Electrical signals from the brain

المخطط الكهربى للمخ The Electroencephalogram (EEG)

عند وضع أقطاب على فروة الرأس لتسجيل النبضات الكهربية للمخ فإننا نحصل على نبضات ضعيفة، هذه النبضات تعبر عن النشاطية الكهربيـــة للخلايـــا العــصبية (neurons) فى غطاء المخ (cortex of the brain) وقد يفسرها الــبعض علـــى أن الجهود الكهربية التى تحصل عليها فى هذه القياسات تكون محصلة عمليـــات عديـــدة متواكبة مع بعضها البعض من بينها النشاطية الكهربية للخلايا العصبية لغطاء المخ.

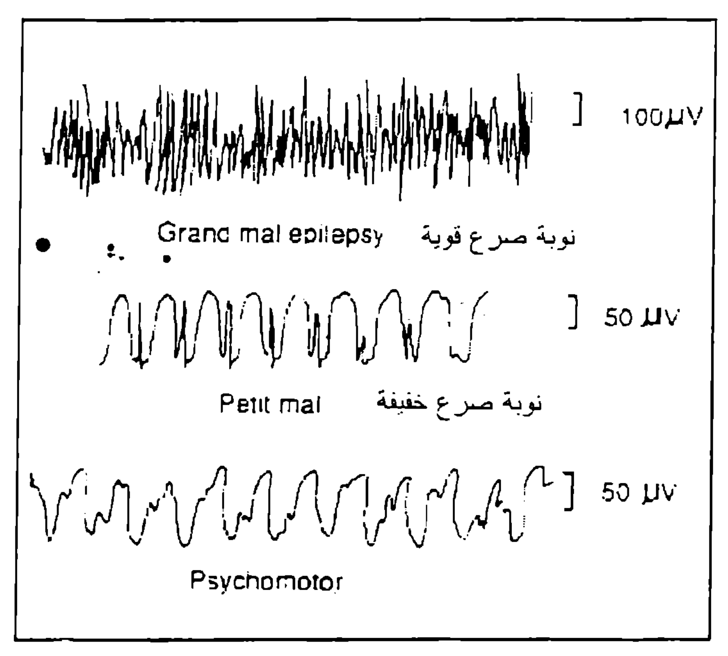
وهـــذه النـــشاطية الكهربيـــة يعبـــر عنهـــا بجهـــد الحـــدث للمـــخ (brain action potential) ويسمى تسجيل هذه النبضات بالمخطط الكهربى لجهـد الحدث فى المخ (EEG) Electroencephalogram.

ويستخدم لذلك أقطاب توضع على الرأس فى مواضع تعتمد على الجزء المـــراد دراسته بالمخ، وهذه المواضع معروفة ومتفق عليهما وتسمى بنظام مواقـــع الأقطـــاب (10-20)، (International standard 10-20 system of electrode location)

أما الأقطاب المرجعية فتتصل بالأذنين، ويستخدم لذلك مـــن 8 إلـــى 16 قطـــب للقياس فى وقت واحد، لكون عدم التماثل فى النتائج وارد فلابد من مقارنة نتائج كـــل قطبين متعاكسين.

وقد وجد أن سعة الذبذبات الكهربية الممثلة لجهد الحدث للمخ تكـــون منخفـــضة (low) (50 ميكروفولت) ويؤثر عليها النبضات الكهربية الخارجيـــة مـــن المجـــالات المختلفة مما يجعل EEG غير نقى، وقد وجد أنه لو تم التحكم فـــى هـــذه المـــؤثرات الخارجية فإن نشاطية جهود عضلات آخرى مثل العضلات المحركـــة للعـــين تـــؤثر عليها.

وهى تعتمد أيضا على النشاط الفكرى لمخ الشخص تحت الاختبار، علـى سـبيل المثال الشخص المسترخى EEG تكون تردد نبضات جهد الحدث فـى المـدى 8-13 ذبذبة فى الثانية أى هى موجات من نوع الفـا (alpha wave) وعندما يكون الشخص فكره أكثر نشاطا فإن نبضات جهد الحدث عنده يكون ترددها أكثر من 13 ذبذبة/ ثانية أى هى موجات من نوع بيتـا (Beta wave) ويستخدم المخطط الكهربى لجهد الحدث فى المخ (EEG) (The Electroence- phalogram) فى المساعدة على تـشخيص بعض أمراض المخ، حيث يساعد فى تشخيص نوبات الصرع (epileptic seizures) وتصنيفها وقد وجد أنه عندما تكون سعة الذبذبات كبيرة وترددها عال فإن ذلك يمثـل مخطط المخ الكهربى للنوبات الصرعية الـشديدة (Grandneal seizure) وتظهـر بشكل جهد حدث عال وسريع ويمكن أن يلتقط من أى قطب ومن أى موضـع علـى الجمجمة. أما عندما يكون التردد قليل وسعة الذبذبة منخفض أى يكون جهـد الحـدث قليل وبطئ السرعة فإن النوبة الصرعية تكون ضعيفة الحـدة (petit malseizure) والشكل (11-13) يوضح النوعين.



شكل (11-13)

كما وجد أن نشاطية المخ تقل فى الأجزاء التى بها ورم وأن جهد الحدث فى هذه الأجزاء يكون ضعيف ولذلك يستخدم EEG فى التأكد من وجود ورم فى المخ من عدمه. وقد إستخدم EEG لدراسة مراحل النوم المختلفة، حيث وجد أنه عندما يكون الشخص نائم وأعينه مغمضة يكون تردد جهد الحدث فى مدى الموجات الفا، وتبدأ سعة النبضات تزداد ويقل التردد عندما ينتقل الشخص النائم من نوم خفيف إلى نوم عميق (light sleep to deeper sleep).

وقد وجد أنه فى مراحل النوم الخفيف يكون تردد جهد الحدث كبير ويسمى نموذج مخطط المخ الكهربى (EEG) فى هذه الحالة بحركة العين السريعة (paradoxical or Rapid eye movement (REM)) ويصاحب هذه المرحلة من النوم أحلام.

وبالإضافة إلى تسجيل نشاطية المخ والتى تحدث بإثارة ذاتية تؤدى إلى ظهور جهد الحدث فإن EEG يستخدم لقياس جهد الحدث الناتج من إستقبال المخ مؤثرات خارجية مثل أثر سقوط الضوء على العين أو إشارة صوتية على الأذن. ونبضات جهد الحدث الناتج من هذه النوع من المؤثرات يسمى أثر نفخ الحياة (evoked responses) أو أثر الانتباه، وقد يحدث الأثر الخارجى ولا يؤدى إلى إنتباه الشخص حيث لا يؤدى الأثر لوجود جهد حدث وذلك من جراء التعود على المؤثر (habituation).

النبضات الكهربية من العين

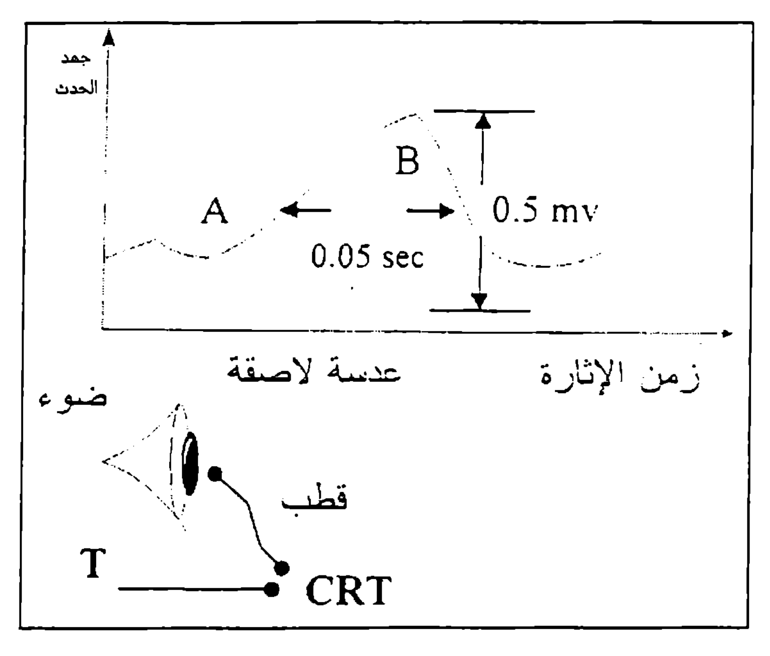
Electrical signals from the eye

المخطط الكهربى للعين

The electroretinogram (ERG), The electro oculo gram (EOG)

عندما تثار شبكية العين بسقوط الضوء عليها فإنه يمكن تسجيل جهد الحدث فى العين، ويتم ذلك بوضع قطب على عدسة لاصقة على قرنية العين ويوصل القطب

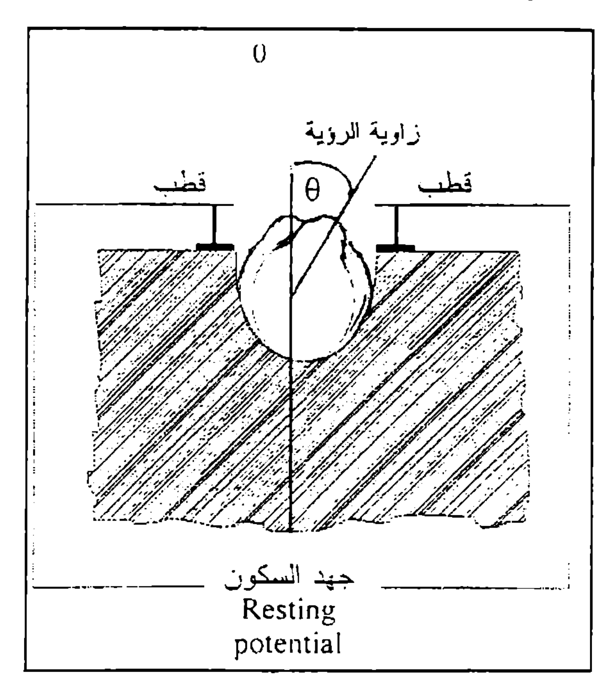
الثانى بالإذن أو خلف الرأس وبذلك يمكن تسجيل المخطط الكهربى للعين (Electroretinogram(ERG))، وهذا المخطط يكون أكثر تعقيدا من المخططات الكهربية الآخرى جيث يكون محصلة مؤثرات كثيرة تحدث فى العين (فى السائل الزجاجى يحدث تفاعل كهروضوئى كيميائى) والشكل (12-13) يوضح (ERG) لعين طبيعية حيث تظهر الموجة B الممثلة لجهد الحدث فى الشبكية وهذه الموجة لا تظهر فى حالة الشبكية الملتهبة حيث يكون لونها داكن (pigment or retinitis pigmentosa).



شكل (12-13)

كما يمكن تسجيل جهد الحدث الناتج من حركة كرة العين حول محور محجرها لمتابعة شئ فى حركة أفقية ويسمى بالمخطط الكهربى لحركة العين فى محجرها (The electro oculo gram)(EOG)، ويتم ذلك بوضع كرة العين بين قطبين وإعتبار النقطة التى تنظر إليها العين فى بداية التجربة نقطة الأصل وبحسب جهد الحدث لها صفر ثم تتحرك كرة العين بشكل أفقى ويسجل جهد الحدث مع زيادة زاوية

الرؤية، وقد وجد أن هذه العلاقة خطية أى يزداد جهد الحدث بزيادة زاوية الرؤية، وهذه الدراسة تعطى فكرة على أثر الجرعة الدوائية على حركة كرة العين، كما تعطى فكرة عن تردد العين الزاوى والعجلة الزاوية لحركة العين.



شكل (13-13)

النبضات المغناطيسية من القلب والمخ

Maqneticy signals from heart and brain

المخطط المغناطيسى للقلب والمخطط المغناطيسى للمخ

The magnetocardiogram & The mognetoencephalogram (MCG & MEG)

ينشأ المجال المغناطيسى فى القلب أثناء حركة الشحنات الكهربية فى عمليتى عكس الإستقطاب وإعادة الأستقطاب، إلا أن هذا المجال حول القلب يكون ضعيف، $\left[\left(3\times10^{-11}\right)\right.$ تسلا $tesla(T)$، $\left.\left(IT = 10^{4}\,gauss\right)\right]$، ولقياس مجال ضعيف بهذا القدر لابد من مكان معزول عزلا جيداً جدا (غرفة) وجهاز لقياس المجال عال الدقة

(magnetometer) ويستخدم لذلك السكويد (SQUID) ويعمل بدقة عالية لكونه مصنع مادة فائقة التوصيل الكهربى (Superconducting Quantum Interfernce Device) ويعمل عند $5\,K$ ويقيس قيم المجال المغناطيسى المستمر والمتردد فى حدود 10^{-14} تسلا.

ويقاس المخطط المغناطيسى للقلب ((Magnetocardiogram (MCG)) بوضع طرف السكويد (magnetic detector probe) المحفوظ عند درجة حرارة منخفضة على صدر المريض الموجود داخل الغرفة المعزولة عند عدة نقاط، وترسل النبضات المغناطيسية للقلب من خلال موصلات معزولة عزلا جيدا إلى محطة خارج الغرفة حيث نحصل على تسجيل لـ (MCG)، وتستغرق هذه العملية أقل من دقيقة.

والمخطط المغناطيسى للقلب (MCG) يعطى معلومات دون الحاجة إلى أقطاب تثبت على الصدر، ونظرا لأن (MCG)، (ECG) هما إنعكاس لحركة نفس الشحنات الكهربية فإن يمكن مقارنتهما لتشابه التضاريس، والمخطط المغناطيسى للقلب (MCG) يتميز على المخطط الكهربى بأنه يسجل المجال المغناطيسى للتيار المستمر الذى يحدث فى العضلات والأنسجة الممزقة.

ويعطى مؤشر على إحتمال حدوث ذبحة قلبية (Heart attack). ويستخدم السكويد (SQUID) أيضا لتسجيل المجال المغناطيسى للمخ حيث ينشأ مجال مغناطيسى حوله، ويسمى بالمخطط المغناطيسى للمخ Magneto-encephalgram (MEG) وقيمته 10^{-13} تسلا تقريبا، والمخطط المغناطيسى للمخ ناتج من تاثير التيار الكهربى المستمر وبذلك يعطى معلومات يعجز عنهما (EEG).

والمجالات المغناطيسية للجسم تنشأ من حركة الشحنات الكربية أو تنشأ من وجود أجسام مغناطيسية داخل أجزاء الجسم مثل وجود بعض أثار الأسبستس المحتوى على الحديد والتى يسجلها MCG لبعض عمال المصانع العاملة فى هذا المجال.

وقد أثبت الدراسات أن الكهرباء فى الجسم البشرى تساهم فى ظواهر كثيرة وعديدة منها :

نمو العظام Bone Growth

العظام تحتوى على النسيج الضام (Colagen) وهى مادة بيزوكهربية piezoelectric وتسلك سلوك أشباه الموصلات السالبة Semiconductor n-type تحت تأثير القوة المولدة لجهد كهربى قليل أى أنها توصل التيار الكهربى بحركة الشحنات الكهربية السالبة (الإلكترونات) من الجانب الآخر فإن البلورات المعدنية (apatite) فى العظام تكون ملتصقة بالنسيج الضام وتسلك سلوك أشباه موصلات موجبة (P-type semiconductor) أى أنها توصل التيار الكهربى بحركة الشحنات الموجبة، وعند نقطة إتصال النسيج الضام والبلورات المعدنية تتكون الوصلة الثنائية (P-n Junction) يسرى التيار بسهولة من النوع P إلى النوع n ولا يسرى فى الاتجاه المضاد وكأنه مقوم كهربائى يسمح بمرور التيار الكهربى فى إتجاه ولا يسمح بالمرور فى الاتجاه الثانى، ومن المحتمل أن القوة التى تؤثر على العظام والمنتجه للجهد الكهربى كأثر بيزو بالإضافة إلى التقويم الحادث من الوصلة الثنائية للنسيج الضام مع بلورات المعادن (P-n Junction) عاملان يعطيان تيار كهربى فى إتجاه واحد بضبط نمو العظام، (Bone growth) بمعنى أن هذا التيار يتناسب مع الاجهاد (القوة/ وحدة مساحات) ويزداد الأجهاد الميكانيكى فى العظام ويؤدى إلى زيادة نمو العظام وإستطالتها.

شفاء الأجزاء المتضررة Fracture and wound healing

عندما يتضرر جزء من الجسم بالجرح أو الكسر أو الحرق فإن تيار كهربى مستمر يظهر بالإضافة إلى التيار الأصلى فى هذه الأجزاء المتضررة ويسمى بتيار التضرر (injury current) ومن ثم يصبح الجهد الكهربى للأجزاء المتضررة أعلى من جهد المناطق المجاورة، وهذا الجهد العالى يساعد فى شفاء الجروح والكسور والحروق، وفى حالة الكسور وجد أن التيار المستمر يكون فى حدود 2 نانو أمبير

حيث يساعد على التحام العظام بسرعة مهما كانت تعانى من معدل نمو بطئ (Poor growth).

وكأن التيار الكهربى المستمر هذا عامل حاكم فى عملية النمو حيث أن شفاء الجروح والحروق والكسور هى فى الأصل عملية نمو.

الأتزان فى الجسم- التغذية العكسية

Homeostasis- feedback

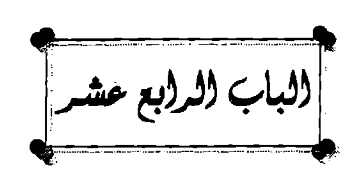
وظائف الجسم تؤدى بإنضباط بنظام الاتزان Homeostasis وهو ما يقابل فى الصناعة التغذية العكسية السلبية (Negative feedback)، وتسمى فى الجسم بالتغذية العكسية الحيوية السلبية (bionegative feedback) أو (bio feedback) وتستخدم فى الجسم لحدوث الاتزان فى منطلبات الجسم من كل ما يحتاجه، وعلى سبيل المثال : ومن الوظائف الهامة هى ضبط الكالسيوم (calcium) فى الدم، فإذا نقص مستواه فى الدم إلى حد منخفض جدا فإنه بإشارة كهربية من المخ إلى الخلايا العظمية أن خلو سبيل بعض الكالسيوم من العظام لتزيد مستواه فى الدم إلى المستوى المطلوب- وإذا حدث العكس أى زادت نسبة الكالسيوم فى الدم فإن المخ يرسل إشارة كهربية إلى الكلى لإزالة بعض الكالسيوم حتى يعود إلى مستواه الطبيعى.

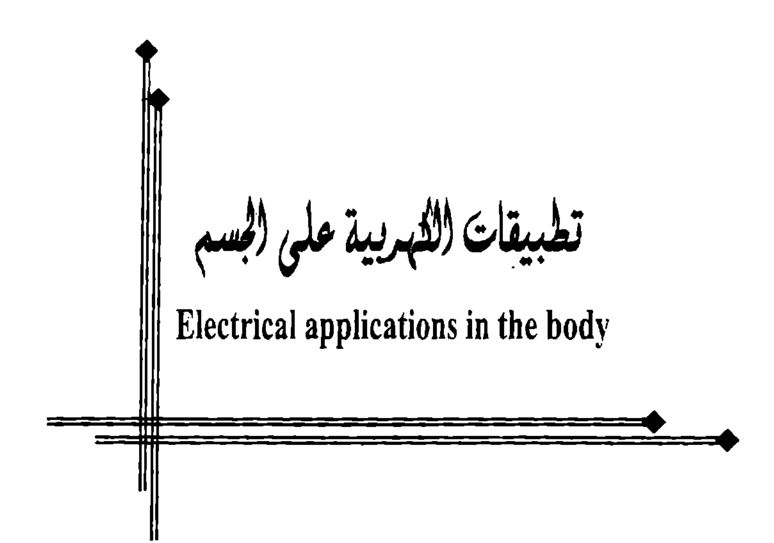
وكذلك عندما يكون جسم الإنسان فى حالة نمو فإن عدد خلاياه تزداد بشكل مطرد حتى يصل إلى حجم البلوغ (adult size) عند ذلك بإشارة كهربية من المخ يظل حجم الجسم ثابت فى حدود وذلك بنظام التغذية العكسية الحيوية، إلا أنه قد يحدث فى بعض الحالات أن بعض الخلايا لا تستجيب للإشارة الكهربية المنظمة للتغذية العكسية الحيوية وتصبح نوع من الأورام (Tumor).

وقد يلاحظ الإنسان نظام التغذية الحيوية العكسية عندما يسقط ضوء على إنسان العين بشدة عالية (High intensity light on iris) فإن الإشارة الكهربية التى تصل من العصب البصرى (optic nerve) إلى المخ (brain) تكون كبيرة عند ذلك تصدر

إشارة كهربية من المخ إلى (إنسان العين) ليقلل قطره وبالتالى يقل الفيض الضوئى النافذ من (إنسان العين) ثم إلى الشبكية حيث تعود الإشارة الكهربية التى تصل إلى المخ عبر العصب البصرى إلى السعة المناسبة.

والجهاز العصبى اللاإرادى يقوم بنظام التغذية العكسية الحيوية فى الجسم ويجعل كل شئ موزون بقدر فيتحقق بذلك إتزان وإستقرار كل وظائف الجسم بفضل ما يرسل من المخ إلى كل أعضاء الجسم وما يصل إلى المخ من جميع أجزاء الجسم من إشارات كهربية.


الباب الرابع عشر


تطبيقات الكهربية على الجسم
Electrical applications in the body

الباب الرابع عشر

تطبيقات الكهربية على الجسم

Electrical applications in the body

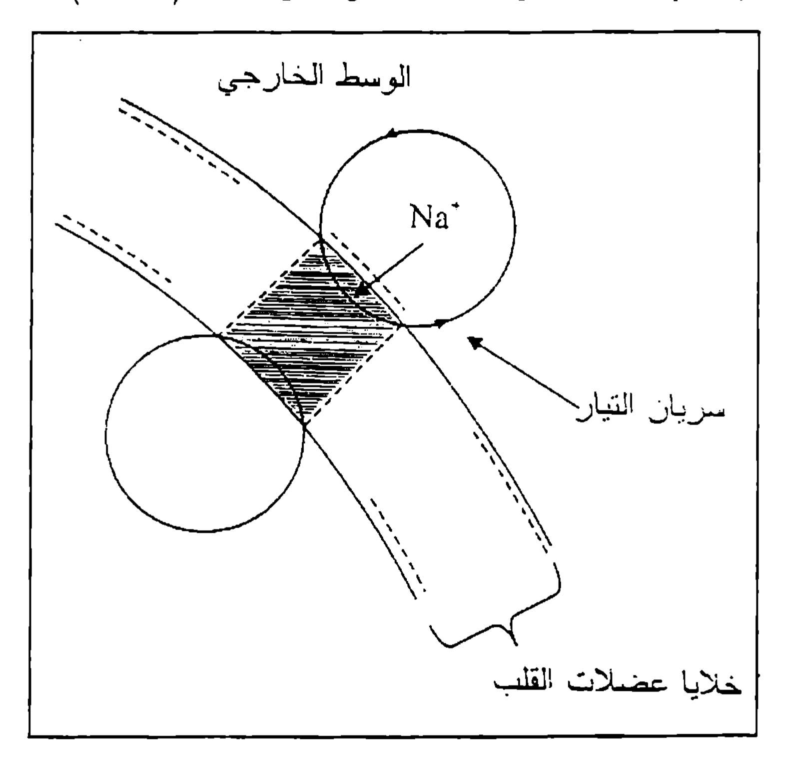
مقدمة :

مرضى القلب الآن أسعد حظاً من ذى قبل، لأن مريض القلب الآن يستظهر له مخطط القلب الكهربى (ECG) بشكل دائم على شاشة مرئية بحيث يظل تحت الملاحظة إلى أن يعود المخطط إلى نموذجه الطبيعى، وبهذه الطريقة يستطيع المعالج ملاحقة كل مهددات الحياة كلما ظهرت على الشاشة بطريقة سريعة.

الجهود الحيوية للقلب Biopotentials of the heart

حركة الأيونات إلى داخل خيوط العضلات (الخلايا) فى القلب تتسبب فى إظهار جهد الحدث (action potential)، وبذلك يحدث الإنقباض فى القلب وهذه العملية مستمرة ودائمة، وحركة الأيونات فى خلايا عضلة القلب عبارة عن سريان التيار الكهربى فيها وهذا يؤدى بدوره إلى ظهور فرق جهد فى الأنسجة خارج هذه الخلايا وعلى سطح الجسم، وبالرجوع إلى مخطط القلب الكهربى ECG يكون سريان هذا التيار حادث فقط عند إنتشار جهد الحدث من موضع إلى موضع آخر ويكون فى أظهر حالاته عند الموجة QRS أو عند الموجة T. وقد وجد أنه عند قمة الموجة QRS أى عند القمة R تكون الجهود على سطح الجسم (الصدر) فى حدود 4 مللى فولت حول القلب، وتكون واحد مللى فولت فى مواضع بعيدة عن القلب.

والأيونات التى تتحرك إلى داخل خلايا عضلات القلب هى أيونات الصوديوم Na^+ التى تدخل إلى الخلايا فيتغير إستقطابها وتصبح موجبة من الداخل وسالبة من الخارج وبذلك يحدث التيار الأيونى الذى يتسبب فى ظهور جهد الحدث المؤدى إلى إنقباض القلب، وبإنتقال نقطة دخول أيونات الصوديوم من موضع إلى آخر يؤدى إلى إنتقال جهد الحدث من موضع إلى آخر وبذلك ينتشر جهد الحدث على طول جدران القلب فى إتجاه واحد وفى كل مرة يعكس الاستقطاب بنبضة القلب وبذلك يستمر إنقباض القلب ليؤدى عمله للإبقاء على الحياة، كما أن إنتقال جهد الحدث من موضع إلى آخر يتبعه عملية إعادة الاستقطاب للموضع السابق أى يعود داخل الخلايا سالب وخارجها موجب إستعدادا" لعكس الاستقطاب مرة آخرى شكل (14 – 1).



شكل (1-14)

الأقطاب الكهربية Electric Electrodes

للحصول على مخطط كهربى للقلب أو المخ فلابد من أقطاب تستخدم فى نقل التيارات الكهربية من داخل الجسم إلى حيث يمكن معرفة قيمتها، إلا أن هذه الأقطاب والموصلات المتصلة بها يسرى التيار الكهربى فيها بواسطة الإلكترونات، ولذلك يحدث عند موضع الاتصال بين القطب والجسم أن يتحول التيار الأيونى إلى تيار إلكترونى من خلال تفاعل كيميائى يكون من نتائجه نبضات كهربية تؤثر على إلكترونات مادة الأقطاب ويسرى فيها التيار الكهربى المكافئ للتيار الأيونى داخل الجسم.

فإذا استخدمت المعادن المعروفة كأقطاب فإن إستقطاب كهربى يحدث نتيجة التفاعل الكيميائى عند القطبين **على النحو التالى:**

$$4OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2 \uparrow + 4e \qquad \square\!\!-\xrightarrow{e^- \rightarrow}\rightarrow {}^{+}$$

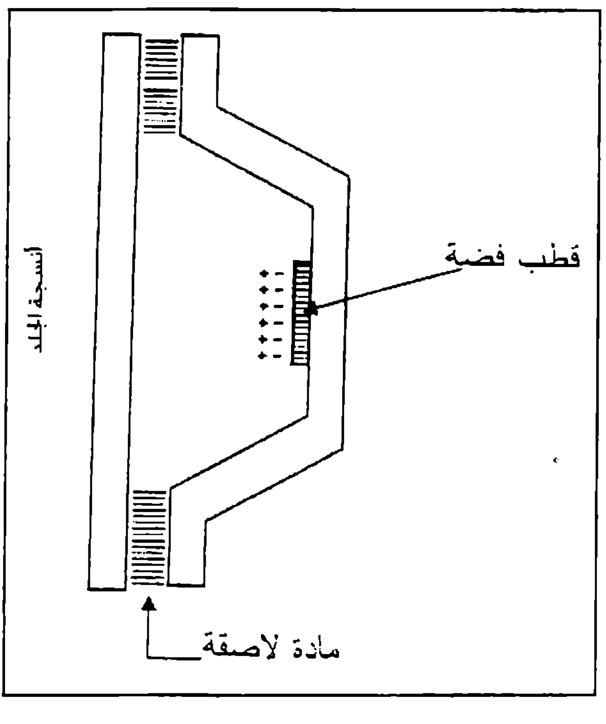
أى تعطى الماء والأكسجين الغازى وتنطلق أربعة إلكترونات يلتقطها القطب ليوصل بها الإشارة الكهربية التى تظهر فى المخطط الكهربى (مثلا ECG) ثم يعود فى القطب الثانى التفاعل **التالى:**

$$2H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2 \uparrow \qquad \square\!\!-\xrightarrow{\leftarrow e^-}\; {}^{-}$$

حيث ينطلق الهيدروجين. وهذه أقطاب بلاتينية تتسبب فى عمل أصوات نتيجة الذبذبات التى تحدث فيها أثناء التفاعل، وقد تؤثر هذه الذبذبات على (ECG) لذلك إستبدلت بأقطاب من الفضة حيث تلاشت هذه المشكلة.

فى حالة استخدام أقطاب الفضة فإن طبقة من الشحنات المزدوجة السالبة وموجبة تتكون عند التصاق القطب الحاقن مع الجلد (solution – to– solution electrode) وهذه الطبقة من الشحنات المزدوجة تظل ثابتة مهما كانت حركة

المريض وبهذه الطريقة يتراجع عن الجلد ويلزمه مادة لاصقة موصلة، وتلك المادة منها أنواع كثيرة.



شكل (2-14)

المكبرات Amplifiers

وجد أن سعة نبضات مخطط القلب الكهربى (ECG) فى حدود واحد مللى فولت. وتلك سعة صغيرة وإذا حدث بينها وبين جهود المصادر الخارجية المؤثرة على المريض تداخل قد تختفى لكون الجهود االخارجية تعطى آثار أكبر وقد وجد أن التيار التأثيرى (I) الذى يسرى فى جسم المريض من جراء مصادر الجهد العادية والموجودة فى الجدران يكون فى حدود واحد ميكرو أمبير $(I\mu A)$. وهذا يؤدى إلى فرق جهد قدره 10 مللى فولت إذا كانت مقاومة أطراف التوصيل بين جسم المريض وراسم الذبذبات فى حدود 10^4 كيلو أوم $(10^4 k\Omega)$ **وذلك فى ضوء قانون أوم:**

$$\left[V = I.R. = 10^{-6} \times 10^{4} = 10mv\right]$$

وهذه القيمة عشرة أمثال جهد الحدث (action potential) ومن ثـم يكـون المخطط (ECG) عديم الفائدة.

لـذلك يـستخدم راسـم نبـضات القلـب المتـصل بمكبـر تفاضـلى Differential amplifier بدلا من مكبر عادى، وهذا يؤدى إلى تقليل الجهد التأثيرى إلى قيمة قدرها 0.1 مللى فولت حيث يقاس الفرق فى الجهد التأثيرى بين نقطتين الأمر الذى يجعل المخطط الكهربى للقلب ECG معبرا تعبيرا صحيحا عـن جهـد الحـدث الصادر عن القلب، ويتم تسجيله بعد تكبيره.

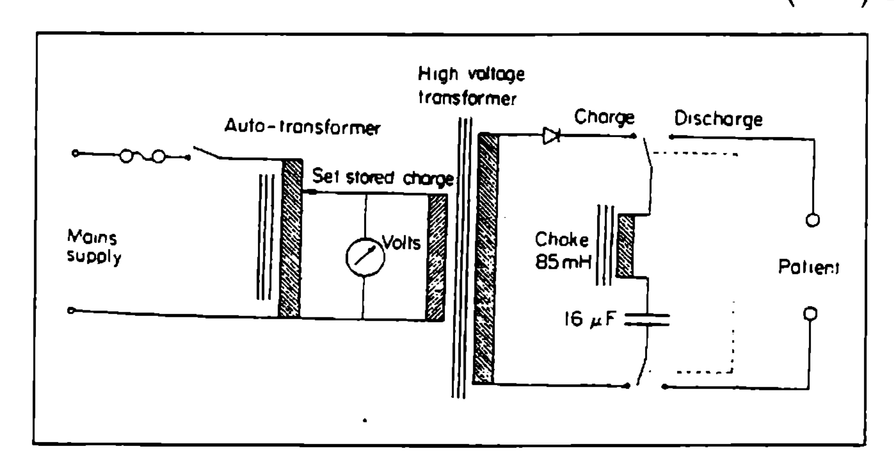
وقد وجد أن مجالا مغناطيسا قد ينشأ حول أطراف التوصيل الموصلة بين الجسد وراسم الذبذبات المحتوى على مكبر وهذا المجال يؤثر على جهد الحدث فيقلله الأمـر الذى يجعل (ECG) غير ممثل للواقع، ولذلك يلزم تنقية أثـر المجـال المغناطيـسى التأثيرى أيضا، ووجد أن الطريق المناسب إلغائه وذلك بلف طرفى التوصـيل علـى بعضهما البعض وهذا يلغى أثر كل لفة على اللفة التالية المعاكسة لهـا، والآن تـصنع أطراف التوصيل فى موصل واحد ملفوفين بعضهما على بعض ولا تنفصلان إلا عند التوصيل براسم الذبذبات وعند الأقطاب على الجسم ويتم تسجيل (ECG) على أوراق عادية براسم الذبذبات الإلكتروني حيث يظهر شكل جهد الحدث على الـشاشة، وقـد أصبح اليوم راسم الذبذبات مزود بحاسب ليسجل (ECG) فى الذاكرة فـضلا" عـن الشاشة وبذلك يتم طبع شريط (ECG) فى أى وقت للعرض على الطبيب للمـساعدة فى التشخيص.

منشط عضلة القلب الصدمى Defibrillators

فى حالات مرضى الذبحة القلبية يسجل (ECG) بشكل دائم حتى يتم إكتشاف أى تغير فى حالة القلب، وكثيراً ما يحدث تغير فى نسق ضربات القلب ويشعر المـريض

أن قلبه ينزع من بين جنبيه ويتوقف القلب عن عملية الضخ وتهدد حياة المريض إذا لم ينشط القلب بشكل صدمة كهربية سريعة.

ويتركب جهاز الصدمات الكهربية (Defibrillators) من محول كهربى رافع حيث يكون الجهد الخارج منه آلاف المرات الجهد الداخل إليه، ويتصل الجهد الخارج منه بمقوم التيار ليحول التيار المتردد إلى تيار مستمر يمر خلال مكثف فيشحنه وعندما يتم شحن المكثف يفصل عن المقوم ويوصل بأقطاب موضوعة على الصدر مقابل طرفى القلب العلوى والسفلى ويتم تفريغ شحنة المكثف فى القلب حيث يؤدى التيار العالى (20 أمبير) إلى انقباض كل خلية فى عضلة القلب فى وقت واحد وتتكرر العملية حتى يعود القلب إلى الانقباض والانبساط بالنسق الطبيعى أو قريب من ذلك، شكل (3-14).



شكل (3-14)

منظم نبضات القلب Pacemakers

ينفصل الأذنين عن البطينين بطبقة دهنية فى القلب حيث لا توصل بينهما الكهرباء ولا تنتشر بينهما نبضات الأعصاب، إلا فى وضع واحد وهو ضابط عاكس الاستقطاب فى البطين الأيمن ((atrioventricular node (AV) فتنتقل النبضات من الأذنين إلى البطينين وذلك يمكن القلب من عملية الضخ، وإذا تضررت هذه المنطقة (node) فإن

البطينين لا يصلهما أية نبضات من الأذينين، إلا أن البطينين لا يتوقفان عن الضخ حيث يوجد فى البطينين مراكز بديلة تعطى النبضات فى هذه الحالة، والنتيجة أن معدل ضربات القلب يكون 30 ضربة/ دقيقة، وهذا غير كافئ ويكون المريض تحت هذه الظروف فى غيبوبة (semi-invalid).

ولتحسين حالة المريض يوضع موقد ضربات صناعى (pacemaker) به مولد نبضات فى الحدود الطبيعية 75 نبضة/ دقيقة، وعادة ما يوضع الجهاز أسفل الترقوة اليمنى ويستخدم منظار لتوصيل أطرافه بالأذين الأيمن للقلب من خلال الأوردة.

إستخدام التيار الكهربى ذو التردد العالى فى الطب

High frequency electricity in medicine

إستخدام الترددات العالية فى التسخين يسمى العلاج بالموجات القصيرة (short-wave diathermy)، وهناك طريقتين يمكن إستخدامهما فى هذا المجال. وفى كلا الحالتين يكون الجزء من الجسم المراد علاجه جزء من دائرة كهربية للرنين، وأبسط دائرة رنين عبارة عن مكثف متصل بملف. والطاقة الكهربية من مصدرها (power supply) تسرى ذهابا وعودة بين المكثف والملف وتعطى مجال كهربى متردد تردده فى حدود 30 مليون ذبذبة/ ثانية.

الطريقة الأولى طريقة السعة Capacitance method

يوضع الجزء المراد علاجه بين لوحى المكثف الذى بينهما مجال كهربى تردده عال وبذلك تجبر أيونات أنسجة هذا الجزء على الحركة البندولية حسب تردد المجال الكهربى الواقع عليها وبالتالى تكتسب طاقة حركة وجزء منها يتسرب فى الأنسجة عند إصطدام الأيونات بجزيئات الأنسجة على شكل حرارة، وكمية الحرارة المترسبة هذه معتمد على قيمة مربع التيار الكهربى والمقاومة الكهربية للأنسجة تحت العلاج، وتسمى بتأثر جول الحرارى Joule heating $(\omega = I^2Rt)$

حيث ω طاقة الحركة I التيار الكهربى، R مقاومة الأنسجة، t زمن التعرض.

والطريقة الثانية طريقة التأثير Inductance method

وفى هذه الطريقة يوضع الجزء من الجسم المراد علاجه قريب من أو داخل الملف، حيث يتولد مجال مغناطيسى فى الملف نتيجة لمرور تيار متردد تردده عال (30 مليون ذبذبة/ ثانية) داخل نسيج الجسم فى الجزء المعنى الذى يولد بالتأثير تيارات تأثيرية Eddy currents فى الأنسجة، والطاقة المفقودة بالتيارات التأثيرية تظهر بشكل حرارة.

وكلا الطريقتين تعطيان كمية الحرارة اللازمة للعلاج بالموجات القصيرة short-wave diathermy، وهى تستخدم فى علاج الصدر والتهاب المفاصل والتهاب العضلات الناتجة من الاجهادات الزائدة، ويفضل هذا النوع من العلاج للأنسجة الداخلية. كما تستخدم الموجات الدقيقة فى العلاج (Microwave diathermy) وفى هذه الحالة لا يكون الجزء المعالج من الجسم جزء من الدائرة الكهربية، حيث يمتص هذا الجزء ما يسقط عليه من الموجات الدقيقة، ونحصل على الموجات الدقيقة من مولد خاص يسمى بالمجنترون يعمل عند ترددات عالية (High frequency magnetron) والموجات الصادرة من المجنترون تستقبل بواسطة هوائى (antenna) الذى يعيد بثها فى إتجاه الجزء المراد علاجه من المريض.

الموجات الدقيقة عندما تسقط على أنسجة الجزء المراد علاجه بعضها يمتص وبعضها ينعكس، والجزء الممتص يرفع درجة حرارة الأنسجة بإعطائها كمية حرارة، فإذا كانت شدة الموجات الدقيقة الساقطة على الأنسجة I_0 وشدة الموجات النافذة حتى عمق x فى الأنسجة I فإن العلاقة التالية تربط العلاقة **بينهما:**

$$I = I_0 e^{\frac{-x}{D}}$$

حيث D سمك الأنسجة.

وقد أثبتت الدراسات أن عملية امتصاص الموجات الدقيقة تعتمد على كمية المياه فى الأنسجة وأن كمية الحرارة المترسبة فى الأنسجة تتسبب فى تفاعل يحدث بين المجال الكهربى فى الموجات الدقيقة وعزم المزدوج القطبى لجزيئات المياه فى الجسم (الجزء من الجسم)، حيث أن جزئ المياه جزئ مستقطب وهناك مسافة تفصل بين مركز ثقل الشحنات الموجبة ومركز ثقل الشحنات السالبة وبذلك يكون له عزم مزدوج قطبى دائم وتكون مهمة التفاعل المذكور هو جعل محور إستقطاب جزيئات المياه موازى لمحور المجال الكهربى للموجات الدقيقة، ولإتمام ذلك فإن هناك شغل يبذل وطاقة تمتص فى الأنسجة وبذلك تسخن الأنسجة نتيجة كمية الحرارة المترسبة فى الأنسجة وكمية الحرارة هذه تعتمد على تردد الموجات الدقيقة (microwave frequency).

ونظرا لأن التفاعل الأساسى يكون من جزيئات المياه فى الأنسجة فإن كمية الحرارة المترسبة تزداد بزيادة كمية المياه فى الأنسجة وبذلك يكون تسخين الدهون ضعيف لعدم وجود مياه.

ومما يجب أن يؤخذ فى الأعتبار أن التسخين الشديد من الممكن أن يكون له أضرار وخصوصا فى الأماكن شديدة الحساسية، فالتسخين الشديد (Over-heating) قد يسبب غشاوة على عدسة العين بما نسميه المياه البيضاء (cataracts) وقد يسبب فى موضع آخر العقم (sterility)، لذلك فإن للتسخين حد أقصى لزمن التعرض وحد أقصى لكل من القدرة الكهربية للأجهزة المستخدمة والترددات الصادرة عنها، إلا أنه من البديهات أن الموجات الكهرومغناطيسية الصادرة من أجهزة كهربية تكون طيعة وعوامل التحكم والسلامة والآمان فيها متوفرة ومستخدميها خبراء وبذلك تكون الجرعات العلاجية مضبوطة وزمن التعرض محسوب بدقة والجزء المراد علاجه محدد مساحة وحجما. وقد إستخدمت الترددات الكهربائية العالية بالوصف السابق فى وقف النزيف وأدت إلى نتائج طيبة وخصوصا عندما يكون النزيف حادث من أوعية دموية دقيقة لا يمكن ربطها إلا بالكى الكهربى (electrocautery)، ويستخدم لذلك وحدة الجراحة بالكهرباء ذات التردد العالى (electrosurgery) وهى تتكون من

المصدر متصل بقطب مساحة مقطعة كبيرة (Butt plate electrode) بذلك تكون كثافة التيار الكهربية عليه قليلة (كثافة التيار هى التيار الكهربى فى وحدة المساحات) أما القطب الثانى فيكون بشكل قلمى (pin probe) وبذلك تكون كثافة التيار عالية جدا عنده، ويوضع الجزء المراد ربطه بين القطبين ويتحرك الطرف القلمى ويتم الربط بالكى واللحام، وقد تستخدم نفس الطريقة لقطع بعض الأنسجة التى تعانى من أورام، وعملية القطع هذه تتم بسرعة جدا كما أنه من الحكمة أن يكون الطبيب خبيرا فلا يؤثر على أنسجة مجاورة، وهذه الطريقة تصلح لعمليات فى المخ (brain) والطحال (spleen)، والمثانة (bladder) والبروستاتا (prostate) وعنق الرحم (cervix).

وإستخدام الأجهزة الكهربية هذه يجب أن يكون بحرص كبير جدا ولابد أن نتأكد من أن الأجهزة متصلة بالأرض اتصالا وثيقا كما أن المبنى الذى يتم فيه العمل يجب أن يكون متصل بالأرض فى ضوء القياسات العالمية ويجب أن يتم مراجعة ذلك دوريا لإصلاح ما قد يفسد حيث أن التيار الكهربى المتسرب فى جدران الأجهزة الغير متصلة بالأرض يكون ضار جدا إلى حد أنه يكون مميت، وعلى سبيل المثال إذا إستخدمت وحدة كهربية لتسجيل مخطط القلب كهربيا وكان الاتصال الأرضى غير موجود أو فسد فإنه عند وضع الأقطاب على صدر المريض يسرى التيار المتسرب فى الجهاز إلى جسم المريض بإعتباره الطريق الوحيد الأقل مقاومة للوصول إلى الأرض وتكون العواقب وخيمة، وتكون العواقب أشد إذا كان هذا المريض يستخدم منظم نبضات القلب الصناعى حيث يكون فى صدره موصل جيد جدا لهذا التيار (التيار المتسرب) والذى يصل إلى القلب مباشرة وتكون النتائج سكتة قلبية.

إستخدام الكهرباء ذات التردد المنخفض- والمغناطيسية

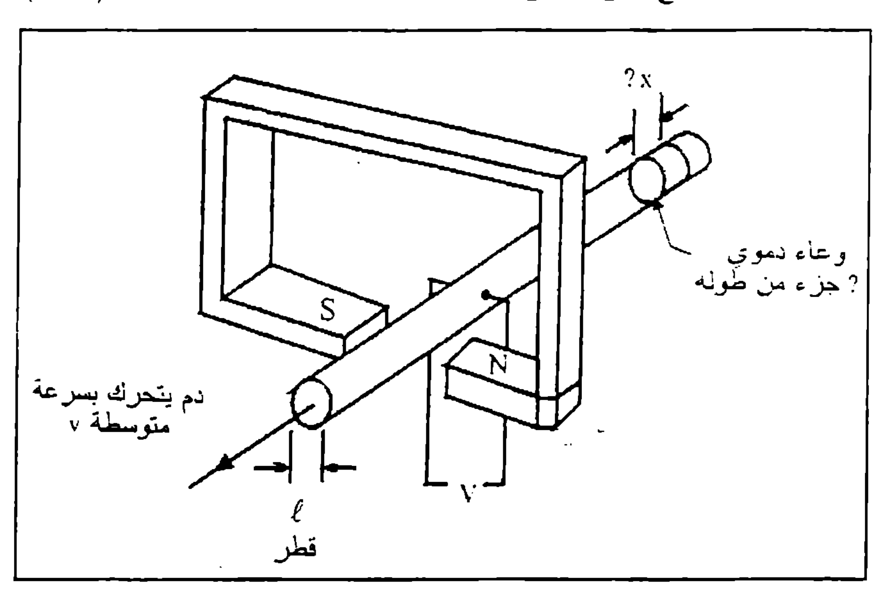
Law frequency electricity and magnetism

عندما يتحرك موصل كهربى بشكل عمودى على مجال مغناطيسيى فإن جهدا كهربيا يظهر بالتأثير فى الموصل الكهربى، وقيمة هذا الجهد تعطى **بالعلاقة:**

$$V = B\ell \upsilon$$

حيث V الجهد الناتج بالتأثير، B الحث المغناطيسى للمجال المغناطيسى، ℓ قطر الموصل الكهربى، υ السرعة التى يتحرك بها الموصل عمودى على المجال المغناطيسى.

وهذا هو قانون فرادى (Farady's law)، وهذا ينطبق أيضا على الموائع (fluids) الموصلة عندما تتحرك بشكل عمودى على مجال مغناطيسى مثل الدم. والدم يسلك سلوك مائع موصل للكهرباء فإذا تحرك الدم فى وعائه بسرعة متوسطة قدرها v بين قطبى مغناطيس يعطى مجال حثه المغناطيسى B متعامد مع إتجاه حركة الدم فإن جهدا كبيرا قدره V ينتج على جانبى الوعاء الدموى الذى قطره ℓ، شكل (3-14)



شكل (4-14)

وبذلك تكون سرعة الدم فى الوعاء.

$$\upsilon = V / \ell B$$

وبمعرفة وقياس المعاملات B، V، ℓ يمكن تعيين السرعة v، كما أنه يمكن تعيين حجم الدم الذى يسرى فى الوعاء الدموى فإذا فرض أن حجمه (H) **فإن :**

$$H = A.\Delta x$$

حيث Δx هى جزء من طول الوعاء

$$\therefore H = A.\upsilon.\Delta t$$

$$h = \frac{H}{\Delta t} = A.\upsilon$$

حيث H هى حجم الدم السارى فى وحدة الزمن.

$$h = \pi\left(\frac{\ell}{2}\right)^2.\upsilon$$

$$= \frac{\pi}{4}\ell^2.v$$

ومعرفة كمية الدم السارية فى وحدة الزمن تساعد فى أمور كثيرة مثل تنظيم ضربات القلب وثبات درجة حرارة الجسم، وعملية التنفس والعرق وجميع الأمور الذى يتحكم فيها الجهاز العصبى اللاإرادى.

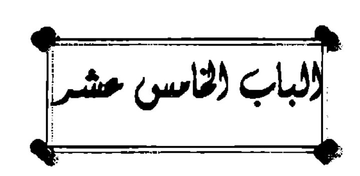
وبالرغم من أن التحكم فى الأمور السابقة لا إرادى إلا أن الحالة النفسية والعاطفية تؤثر فيها، وعلى سبيل المثال فإن الحالة النفسية لشخص ما تزيد من عرقه فى موقف ما، لتهدئ من حالته النفسية أو العاطفية.

والتغير فى حالة العرق (perspiration) هو تغير فى نشاطية الغدد العرقية (sweat gland activity) ويرجع السبب فى هذا التغير إلى مقاومة الجلد (skin resistance) وهذا التغير فى المقاومة الأساسية للجلد (Basal skin resistance(BSR)) يكون سببه نفسى (psychological) ويطلق عليه إسم الأثر الجلدى الجَلْفَانى ((Galvanic skin respins (GSR))، ونقصان مقاومة الجلد يؤدى إلى زيادة العرق أو زيادة نشاط الغدد العرقية، كما أن زيادة مقاومة

الجلد يؤدى إلى نقصان نشاط الغدد العرقية وبالتالى نقصان العرق، وقد يؤخذ كل هذا دليل على الحياء من عدمه.

ويمكن قياس مقاومة الجلد أو GSR حيث تتواجد الغدد العرقية بكثرة مثل راحة اليد Palm، وذلك بوضع قطب على راحة اليد والقطب الآخر ظهر اليد ويسمح لتيار مستمر صغير بالمرور ثم يقرأ فوق الجهد بين الطرفين وبمعرفة التيار يمكن إيجاد مقاومة الجزء المحتوى بين القطبين فى ضوء قانون أوم وتكون المقاومة فى المدى من 20 إلى 200 كيلو أوم حيث تعتمد النتيجة على نشاطية الغدد العرقية التى تعتمد على الحالة النفسية.

بعض الأمراض العصبية قد تؤثر على نشاطية الغدد العرقية وقياس GSR يساعد على التشخيص فى العلاج.





Applications of heat and cold in medicine

الباب الخامس عشر

تطبيقات التسخين والتبريد فى الطب

Applications of heat and cold in medicine

مقدمة:

إستخدم الإنسان المعالجات الطبيعية (Therapeutic) منذ زمن بعيد مثل حمامات الزيوت الساخنة والماء البارد فى الاستشفاء من أضرار كثيرة. كما إستخدمت اليد كمجس للتعرف على حالة شخص ما إذا كان بارد أو ساخن. ومن المعروف أن المواد تتكون من جزيئات تعطى المادة طاقتها الداخلية وهى دالة فى درجة الحرارة، وإذا أردنا زيادة درجة حرارة وسط ما فإن ذلك يتم بالتسخين وكذلك إذا أردنا تقليل درجة حرارة المادة فإن ذلك يتم بالتبريد وتغير درجة حرارة المادة بالزيادة والنقصان هو الطريق لتغير صورتها.

قياسها درجة الحرارة

Thermometry and temperature scales

تقدير درجة حرارة وسط ما لا يتأتى مباشرة، ولكن فى ضوء تغيّر كثير من خواص المادة بتغير درجة الحرارة لذلك تقاس الخاصية أو يقاس التغير فيها ثم يعاير ويتحول إلى درجة حرارة، ومثال ذلك تجمد الماء وغليانه فقد وجد أن كمية الحرارة اللازمة لتجمد وحدة الكتل من الماء ثابتة كما أن كمية الحرارة اللازمة لتبخير وحدة الكتل من الماء الثابتة، وقد تم التعرف عليهما ومعايرتهما ووضع مقابل كمية الحرارة

اللازمة لتجمد الماء درجة حرارة قدرها صفر درجة مئوية كما وضع مقابل كمية الحرارة اللازمة لتبخير الماء درجة حرارة قدرها 100°م وسمى التدريج بين الصفر والمائة بالتدريج المئوى، وإستخدم لقياس درجة حرارة المواد والأوساط فى هذا المدى بعد إستكماله، وقد أدى ذلك لمعرفة أن درجة حرارة الجسم البشرى ثابتة وقيمتها 36.5°م-37.5°م.

كما توجد تدريجات أخرى مثل التدريج المطلق وهو يمتد من 273- إلى 373 وتقابل فيه درجة مائة على التدريج المئوى درجة 373 ويقابل الصفر المئوى درجة 273 وكل درجة عليه تسمى واحد كلفن ودرجة 273- تسمى بدرجة الصفر المطلق، ويستخدم هذا التدريج فى الأبحاث العلمية.

وقد إستخدم لقياس درجة الحرارة ترمومترات تُصنع من الزجاج بها سوائل مثل الكحول أو الزئبق، وتعمل هذه الترمومترات فى ضوء فكرة أن المواد المختلفة إذا تأثرت بالحرارة أو البرودة يحدث تغير فى أبعادها بالتمدد أو الانكماش ولكن بنسب مختلفة تعتمد على نوع المادة، وتمدد السوائل يكون أكبر من تمدد المواد الصلبة، أى أن سائل الثرمومتر يتمدد فى داخله بقدر أكبر من الثرمومتر نفسه وبذلك يكون تمدد السائل شاهد على تغير درجة الحرارة، فقد وجد أن خيط رفيع جداً من الزئبق داخل قناة شعرية من الزجاج إذا رُفعت درجة حرارته من صفر إلى مئة فإن 1 سم^3 يتمدد بمقدار 108%، وتزداد حساسية الثرمومتر كلما كان خيط الزئبق رفيع جداً، كما أن سطح الترمومتر يعمل كعدسة لامة فيسهل قراءة الترمومتر وتكون خلفية الترمومتر بيضاء ليرى الزئبق بوضوح.

ومن أهم خواص الترمومتر أنه يسجل درجة حرارة الوسط بأسرع ما يمكن وبناء على ذلك فإن الترمومتر العادى لا يناسب قياس وقراءة درجة حرارة جسم الأنسان لذلك صُنع ثرمومتر خاصٍ مزود باختناق يعمل على ثبات درجة الحرارة المأخوذة من تحت لسان المريض حتى تقرأ ثم يعود الزئبق إلى مستودع الترمومتر بالأهتزاز.

وتستخدم أجهزة أخرى لقياس درجة الحرارة للجسم بطريقة أكثر حساسية مثل ثرمومتر المقاومة (Thermistor) وهى عبارة عن مقاومة من مادة حساسة تتغير مقاومتها بتغير درجة حرارة الوسط الذى توضع فيه ثم يتم معايرة هذا التغير بدلالة درجة الحرارة ويستخدم لذلك دوائر كهربية بسيطة وغير معقدة يكون فوائدها قياس درجة الحرارة بشكل سريع ودقيق وعادة تكونن الدائرة الكهربية فى مكان ثابت والطرف الخاص بقياس درجة الحرارة منها هو الذى يصل إلى المريض حيث يوضع فى الموضع المطلوب ثم تقرأ درجة الحرارة، ويستخدم ثرمومتر من هذا النوع للتعرف على عملية انتظام التنفس بوضع الترمومتر فى أنف المريض لتعيين درجة الحرارة الشهيق ودرجة حرارة الزفير وتعين الفرق بينهما.

كما أن ترمومتر الأزدواج الحرارى الذى يتكون من وصلتين إحداهما توضع فى وسط درجة حرارته ثابته (صفر للثلج) والأخرى فى الموضع المراد قياس درجة حرارته حيث ينتج فرق جهد بين الطرفين البارد والساخن، ويعاير هذا الفرق فى الجهد ليعطى درجة الحرارة مباشرة وتقاس به درجة الحرارة أو التغير فيها بدقة.

المخطط الحرارى لدرجة حرارة الجسم

Mapping the body's temperature –Thermography

جميع الأجسام تشع إشعاعا حراريا بغض النظر عن درجة حرارتها، فإذا كانت درجة الحرارة عالية وكان الإشعاع فى الجزء المرئى فإنه يرى بالعين المجردة (المادة ساخنة حمراء متوهجة)، وإذا كان الإشعاع فى الجزء غير المرئى من الأشعة تحت الحمراء فإنه لا يرى، وتعطى قدرة الإشعاع المنبعث فى وحدة المساحات من أى جسم بقانون ستيفان– بولتزمان (Stefan-Boltzmann) **بالعلاقة:**

$$P = e\sigma T^4$$

حيث T درجة الحرارة المطلقة، e الانبعاثية (Emissivity)=1، σ ثابت بلتزمان وقيمته $5.7 \times 10^{-12} \varpi / cm^2 .k$.

وفى ضوء إنبعاث الأشعة الحرارية من الجسم فقد قيست درجة حرارة سطح جلد الإنسان ووجد أنها تختلف من نقطة إلى أخرى حيث أنها تعتمد على عوامل بعضها متصل بالبيئة المحيطة وبعضها الآخر متصل بعوامل داخلية مثل معدل البناء metabolic rate، أثر الدورة الدموية بالقرب من سطح الجلد ومعدل تبخير العرق وذلك فى حالة سكون الجسم الصحيح العادى.

فإذا ما تغيرت الظروف الصحية وقيست درجة حرارة الجسم فى موضع ما فإن الاختلاف يساعد فى تشخيص ظاهرة مرضية.

وقد وجد أن السرطان يؤدى إلى رفع درجة حرارة المنطقة المتأثرة به، ففى حالة سرطان الثدى ترتفع درجة حرارة الجزء المتأثر به بمقدار درجة واحدة.

والأجهزة المستخدمة فى رسم المخطط الحرارى لدرجة الحرارة فى الجسم تعتمد فكرتها على إسقاط أشعة حرارية صادرة من جسم المريض من مساحة صغيرة من الجسم (فى حدود 5 مم قطر) على مرآة فتعكسه بشكل مستمر على مقطّع chopper حيث يحوله إلى نبضات (تردد) فيسهل تكبيره بعد إزالة الجزء المرئى منه بواسطة مصفاة (Filter) ثم تتحول الأشعة الحرارية (IR) إلى إشارة كهربية تتناسب شدتها مع درجة حرارة سطح الجسم فى الجزء الذى أتت منه الأشعة، وبتغير إتجاه المرآة يمكن عمل مخطط كامل لدرجات حرارة الجسم، ويمكن أن ترى موضع الجزء القادم منه الإشعاع وتقدر قيمة الإشعاع على شاشة تلفزيونية للجهاز راسم الذبذبات (CRT)، ويمكن تحديد المناطق الساخنة والأسخن والباردة والأبرد فى الجسم على الشاشة. كما أن هذه الصور تصور وتسجل وترسل إلى موضع الاحتياج للتشخيص.

ومن الأمثلة سجلت حالات مرضية بناء على إختلاف درجات الحرارة الأتى:

- وجد فرق فى درجة حرارة أحد الذراعين عن الآخر وأثبت التدخل الطبى الجراحى أن الذراع الأسخن كانت تعانى من ورم أو لزيادة سرعة دوران الدم فارتفعت درجة حرارته.
- وجد فرق فى درجة حرارة نصف الرأس الأيمن عن نصف الرأس الأيسر وذلك لوجود مشكلة فى الدورة الدموية للرأس وعولجت وبرأت.
- كما أنه فى حالات مرض السكر ساعد المخطط الحرارى للجسم على الاكتشاف المبكر للمواضع التى درجة حرارتها مرتفعة والتى كان يحتمل أن يتكون فيها دمامل وخراريج تؤدى إلى تفجرها وسرعة العدوى والإصابة بالغرغرينا، قلّت بذلك عمليات قطع الأطراف حيث تمت الوقاية وتشخيص العلاج اللازم بواسطة الطبيب.

العلاج بالتسخين Heat therapy :

كنوع من العلاج الطبيعى (Therapautic) إذا سخن جزء من الجسم فإن ذلك يؤدى إلى حدوث **أمرين إثنين** :

1. يزداد نشاط معدل البناء (metabolism) نظراً لتوسيع الأوعية الدموية (vasodilatation).
2. يزداد توارد الدم إلى المنطقة لتبريدها.

والعمليتين متلازمتين للأنسجة المتأثرة.

ويمكن تسخين أعضاء الجسم بإحدى الطرق الآتية:

1. التسخين عن طريق التوصيل (conductive heating):

بنيت فكرة التسخين بالتوصيل على حقيقة أنه إذا تلاصق جسمين درجة حرارتهما مختلفتين فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد حتى تتساوى درجة حرارتهما، وتعتمد كمية الحرارة المنتقلة من جسم إلى آخر على :

1. مساحة التلاصق.

2. الفرق فى درجة الحرارة بين الجسمين.

3. زمن التلاصق.

4. معامل التوصيل الحرارى للمادتين.

ومن ثم تستخدم الحمامات الساخنة (Hot baths) والضفيرة الساخنة (Hot packs) والمخدات الكهربية الساخنة (pads) لتسخين أجزاء الجسم بالتوصيل عبر الجلد. لعلاج إلتهاب الأعصاب (neuritis) والكدمات (contusions) والالتهابات الجلدية (erythema) وآلام المفاصل (sprains) وآلام الظهر (back pain) تحت الإشراف الطبى.

2. التسخين عن طريق التشعيع (Radiant heat) :

نشعر بالتسخين بالإشعاع من أثر الشمس أو من مدفأة أو من أى مصدر حرارى ويسمى بالإشعاع الحرارى أو الأشعة تحت الحمراء وهذه الموجات تخترق الجلد وتصل إلى 3 سم وتتسبب فى إرتفاع درجة حرارته والتعرض المفرط لها يسبب إحمرار الجلد وإلتهابه (erythema) كما يتسبب فى دكانة الجلد وتصلبه، ويستخدم التسخين عن طريق التشعيع فى علاج الحالات التى تعالج بالتسخين عن طريق التوصيل إلا أن الإشعاع يكون تأثيره أكبر نظرا لأن التسخين يكون على عمق أكبر.

كما أن التسخين عن طريق التيار الكهربى المتردد يعطى نفس الأثر وكذلك طريقة الصدمات الكهربية ويزداد الأثر بزيادة التردد ويكون التسخين بهذه الطريقة (Diathermy) على أعماق أكبر من التسخين بالتوصيل والتسخين بالإشعاع ولذلك يستخدم فى علاج إلتهابات الهيكل العظمى والصدر والأعصاب.

وفى جميع الحالات التى يعالج بها الجسم أو أجزاءه بالتيار الكهربى بإستخدام الموجات الكهرومغناطيسية (short-wave diathermy) فإن الجزء المعنى يوضع

بين قطبين معدنيين واقع عليها فرق جهد تردد عال (موجات قصيرة) وبذلك تتعامل الأنسجة بين القطبين وكأنها محلول إلكتروليتى (electrolytic solution) ونظرا لأن التردد عال فإن الحركة البندولية للشحنات الكهربية بين القطبين تؤدى إلى تسخين الجزء المعالج والطبيب يحدد الجرعة اللازمة من حيث التردد وزمن التعرض وعدد المرات.

ويستخدم التيار الكهربية لتوليد مجال مغناطيسى يُستغل فيضه فى العلاج ويسمى العلاج بالتيار التأثيرى (Induction diathermy) ويستخدم لذلك ملف يُلف حول الجزء المراد علاجه أو مغناطيس دائرى رقيق pancake يوضع قريباً من الجزء المراد علاجه حيث يتم تسخين الجزء بالفيض المغناطيسى للمجال الناتج.

ويستخدم هذا الفيض فى علاج تقلص العضلات (muscle spasms) ويقلل من آلام فقرات العمود الفقرى والقفص الصدرى (bursitis) نظراً لأن الحرارة الناتجة تصل إلى أعماق كبيرة فإنه يستخدم فى علاج روابط المفاصل (joints) مثل الركبة (knee) والكوع (elbow) ومؤخرة القدم (ankle).

كما تستخدم الموجات الميكرونية (microwave diathermy) كوسيلة أسرع وأسهل فى العلاج حيث تكون طاقة هذه الموجات أكبر ويكون التسخين أنجح ويحصل عليها من مصدر خاص يسمى مجنترون (magnetron) حيث يتصل بالجهاز ما يشبه الهوائى (antenna) على شكل قضيب أو مرود (applicator) يُمثل منفذ لخروج الموجات الميكرونية، ويوضع هذا المنفذ على بعد مناسب يحدده الطبيب من الجزء المراد علاجه بالتسخين، وهذه الطريقة مناسبة لعلاج الكسور (fractures) وفى المفاصل (sprains) والتوتر (strains) وتمزق الروابط (injuries tendons) وإلتهاب المفاصل (arthritis).

والموجات فوق الصوتية (ultrasonic waves) (ترددها فوق 20 ألف/ ثانية) تستخدم فى تسخين الأجزاء المراد علاجها (ultrasonic diathermy) حيث يلتصق مصدرها بالجسم مباشرة، وتستخدم الحرارة الناتجة من الحركة الترددية للموجات

الفوق صوتية فى علاج التيبس (tightness) وخشونة المفاصل (scarring) ونظـــراً لأن العظام تمتصها بشكل أكبر من الأنسجة فإنها تساعد على تقليل آلام العظام.

وقد وجد أن العلاج بالتسخين (Heat – Therapy) من الممكن أن يكون مفيد فى علاج السرطان عندما يتحد مع العلاج الإشعاعى (Radiation therapy) حيث يسخن الورم حتى 42°م لمدة 25 دقيقة ثم يعرض بعد ذلك للجرعة الإشعاعية.

إستخدام التبريد فى الطب Use of cold in medicine :

ساعدت صناعة إسالة الغازات فى الحصول على هـــواء ســـائل $(-196c^{\circ})$ وهليـــوم ســـائل $(-269c^{\circ})$ كمـــا ســـاعدت عمليـــة تخـــزين ســـوائل التبريـــد (cryognic fluids) فى الآنية المخصصة لذلك والتـــى صـــممتها جـــيمس ديـــوار (Dewar Jams) على تخزين هذه السوائل ونقلها بشكل آمن الأمر الذى مكـــن مـــن إستخدامها فى الطب (cryogenic in medicine) **كما يلى :**

1. يخزن الدم بشكل طبقات رقيقة جدا فى إناء مصنع على شكل جدارين مـــن معـــدن رقيق بينها فراغ ضيق يشغله الدم وبذلك يكون سمك الدم قليل ومـــساحة ســـطحه كبيرة فإذا ما وضع فى حمام من النيتـــروجين الـــسائل (196-مْ) تجمـــد ويمكـــن الاحتفاظ به فترات طويلة.

2. يذرى الدم (blood is sprayed) فى النتروجين السائل فيتجمـــد علـــى شـــكل قطيرات صغيرة (small droplets) حيث تكون القطيرات فى حجم حبة الرمل ثم تجمع هذه الكريات الدموية وتحفظ فى إناء عند درجة (196-مْ) وتـــسمى هـــذه الطريقة بطريقة رمال الدم (blood – sand).

وكان الدم يحفظ فيما سبق بطريقة نمطية عند درجة (4°م) بعد إضافة مـــادة مانعة للتجلط (anticoagulant)، وقد وجد أن ذلك يسبب تكسير نسبة 1% يومياً من كرات الدم الحمراء وبذلك يصبح الدم غير صالح للإستخدام بعـــد 21 يومـــاً، ومـــن

الطبيعى أن ذلك لا يمثل مشكلة للأنواع شائعة الاستخدام من الدم حيث أنها تستخدم في المدة المذكورة، إلا أن الأنواع النادرة الطلب لا يناسبها الحفظ بهذه الطريقة لأنها تحتاج حفظ لفترة طويلة.

وحفظ الدم بجميع الطرق أسهل وايسر من حفظ الأعضاء للأسباب الآتية:

1. نظرا لكبر حجم وكتلة الأعضاء فإن معدلات التبريد المتجانس غير كافية وغير واقية بالسرعة المطلوبة.
2. إضافة المواد الحافظة يكون صعب وقد يكون لها أثار سلبية.

العمليات الجراحية أثناء التبريد (cryosurgery):

للجراحة أثناء التبريد (cryosurgery) **مميزات:**

1. تقليل النزيف.
2. التحكم فى الأنسجة التالفة بحيث تكون أقل ما يمكن.
3. الإحساس بالألم قليل حيث التبريد (desensitize).

وقد إستخدمت الجراحة بالتبريد فى علاج الشلل الرعاشى (shaking plays or Parkinson's) حيث أن له علاقة ببعض العقد العصبية فى المخ، ويتسبب هذا المرض فى حركة غير إرادية لكل من الأذرع والأرجل.

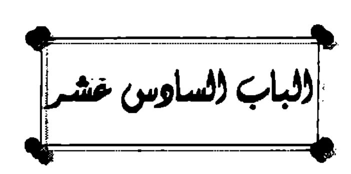
ويعالجون الشلل الرعاشى (Parkinson's) حتى تتوقف الحركات اللإرادية للأطراف بالتأثير على قاعدة المركز البصرى (thalamus) حيث أنه يتحكم فى نقل الإشارات العصبية إلى باقى الجهاز العصبى، وذلك بإستخدام آلة خاصة (cryoknife) تستخدم فى الجراحات بالتبريد.

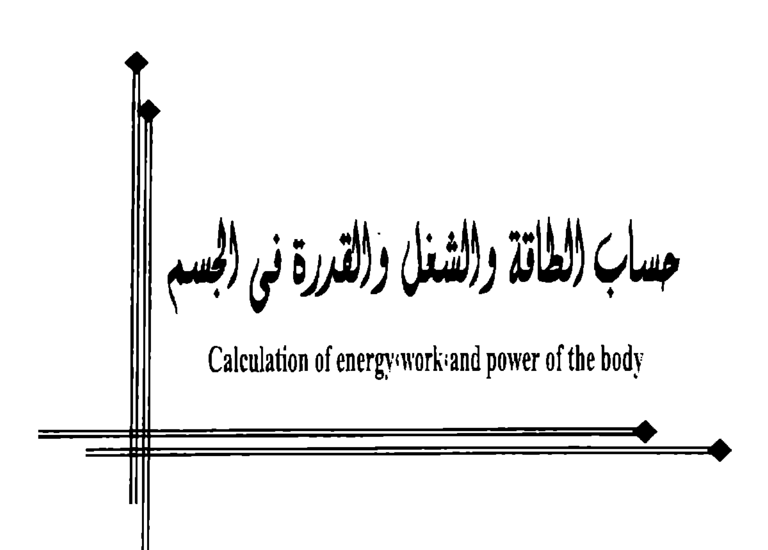
وفى هذه الطريقة يبرد طرق آلة الجراحة إلى درجة حرارة منخفضة (10-) مْ ثم يضغط بها على الجزء المعنى من قاعدة المركز البصرى (Thalamus) فيتجمد

هذا الجزء نتيجة الكى بالتبريد، وزمن الكية يعتمد على متى تتوقف رعــشة أطــراف المريض.

وبذلك تتم العملية ثم تسخن أداة الكى وتستخرج وتزال مــن موضـــع العمليـــة، وزمن العملية والنقاهة والشفاء فى هذه العملية قصير جدا" بالنسبة لعمليات المخ.

وتستخدم الجراحة بالتبريد لإزالة الأورام والنتوئات، كما تــستخدم فـــى جراحـــة العيون وخصوصاً الانفصال الشبكى (detached retina) وتغير العدسات المعتمة فى العين (cataract surgery) وذلك بلمس الطرف البارد لعدسة العــين فتلتــصق بـــه وتخرج معه ثم توضع العدسة البديلة.


الباب السادس عشر


حساب الطاقة والشغل والقدرة فى الجسم
Calculation of energy،work،and power of the body

الباب السادس عشر

حساب الطاقة والشغل والقدرة فى الجسم

Calculation of Energy, work, and power of the body

مقدمة :

للطاقة أهمية خاصة فى جسم الإنسان وكل الأنشطة التى يقوم بها الجسم يستهلك جزء من هذه الطاقة وبذلك تعتبر طاقة الجسم عملية دائمة ومستمرة، وفى حالة سكون الجسم (حالة عادية) (basal condition) يحدث تغير فى طاقة الجسم بما يساوى 25% بسبب حركات الجهاز العظمى والعضلات المحركة له وعضلة القلب، ويحدث تغير فى هذه الطاقة بمقدار 19% فى المخ (brain) فى إعمال الفكر وإدارة شئون الجسم نفسه فى القضايا الإرادية واللاارادية، كما يحدث تغير قده 10% لإتمام الكلى ووظيفتها وتنفيذ هذه الطاقة بمقدار 27% لإتمام كل من الكبد والطحال وظيفتهما.

ومصدر طاقة الجسم والوقود المنشأ لها هو الطعام، الطعام ليس فى صورة مناسبة للتحول إلى طاقة، وفى ضوء ذلك لابد من معالجة الطعام كيميائياً بواسطة الجسم لإعداد جزيئات ممكن أن تتحد مع الأكسجين فى خلايا الجسم، ومن وجهة النظر الفيزيائية فإن الجسم يُعتبر آلة تحول الطعام إلى طاقة تخدم أغراض الجسم (The body is an energy converter) ومن ثم تخضع هذه العملية لقانون بقاء الطاقة.

ويستخدم الجسم طاقة الطعام لتشغيل أعضاءه المختلفة، ولتثبت درجة حرارته ويؤدى ما يعن له من أعمال خارجية، كما يستخدم جزء صغيرا جداً من هذه الطاقة فى الإخراجات المختلفة 5% من الطاقة يستخدم فى البراز، التبول، وما يتبقى بعد ذلك من

الطاقة يخزن فى الجسم على هيئة دهون (fats) وإذا إكتسب الجسم طاقة أخرى عن طريق الإشعاع مثلاً من الشمس أثناء الحركة أو من أى مصدر آخر فإن هذا الجزء المكتسب من الطاقة يساعد فقط فى تثبيت درجة حرارة الجسم أو يساعد فى إرتفاع أو تقليل درجة حرارة الجلد لكن لا يؤثر بأى شكل من الأشكال فى أداء أعضاء الجسم وظائفها ومهامها.

قانون بقاء الطاقة فى الجسم (conservation of energy in the body):

تمثل العلاقة التالية قانون الطاقة فى الجسم:

(change in stored energy) = (Heat lost)+(Work done)

in the body from the body

(التغير فى الطاقة المخزونة) = (الحرارة المفقودة) + (الشغل المبذول)

فى الجسم من الجسم

وهذا هو القانون الأول للديناميكا الحرارية (لاحظ أنه أثناء تطبيق القانون يفترض أنه لا يدخل الجسم طعام ولا شراب كما لا يخرج الجسم أى نوع من الإخراجات).

ولكن طاقة الجسم تتغير بشكل دائم سواء أدى الجسم عمل خارجى أو لم يؤدى.

ويمكن كتابة القانون الثانى الديناميكا فى صورة **التالية:**

$$\Delta E = \Delta Q - \Delta w \qquad (1)$$

حيث ΔE هو التغير فى طاقة الجسم الداخلية، ΔQ هى كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة بالجسم، Δw هو الشغل المبذول بواسطة الجسم فى زمن معين. وفى حالة سكون الجسم $\Delta w = 0$، وعند ثبوت درجة الحرارة فإن الجسم يفقد حرارة إلى الوسط وتكون ΔQ سالبة ومن ثم تكون Δw أيضا سالبة وهذا يدل على أن الجسم يقلل طاقته المخزونة.

فإذا كان التغير فى كل من طاقة الجسم الداخليه ΔE، والمفقود أو المكتسب من كمية الحرارة ΔQ والشغل المبذول بالجسم Δw حدث في فترة زمنية قدرها Δt فإن المعادلة رقم 1 **تكتب على الصورة** :

$$\Delta E / \Delta t = \Delta Q / \Delta t - \Delta w / \Delta t \quad (2)$$

حيث $\Delta E / \Delta t$ هى معدل تغير الطاقة المخزونة فى الجسم، $\Delta Q / \Delta t$ هو معدل فقدان أو إكتساب الحرارة، $\Delta w / \Delta t$ هو معدل بذل الشغل بالجسم أو قدرة الجسم الميكانيكية.

تغير الطاقة فى الجسم Energy changes in the body

من المشاهدات العملية ظن الباحثون أن زيادة استهلاك الأكسجين أثناء عملية الهضم يكون بسبب الشغل المبذول فى عملية الهضم نفسها، وقد ثبت خطأ هذا الفهم لأنه وجد أن عملية الاحتراق تتم فى الخلية وتتم الأكسدة الأمر الذى يزيد من استهلاك الأكسجين.

وفى عملية الاحتراق أثناء الأكسدة تنطلق كمية الطاقة الحرارية وتستغل هذه الطاقة فى عملية البناء (Energy of metabolism) ويسمى معدل الأكسدة بمعدل البناء (The metabolic rate).

وعلى سبيل المثال السكر المعروف بالجلوكوز (glucose $c_6H_{12}o_6$) والذى يتغذى به المرضى عن طريق الحقن فى الوريد (Intravenous) يمكن فهم كيف يؤكسد من خلال المعادلة **التالية**:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 686kcal$$

أى أن واحد جزئ جرامى (1 mole) من الجلوكوز (180g) يتحد مع ستة جزيئات جرامية من الأكسجين (192g) لتعطى ستة جزيئات جرامية من كل من الماء

H_2O (108g) وثانى أكسيد الكربون (264g) ويتولد بالإضافة إلى ذلــك 686 كيلــو كالروى من الطاقة الحرارية.

أى أن الطاقة الحرارية المتولدة من جرام واحد من الجلوكوز (الطعام أو الوقود):

$= \frac{686}{180} = 3.8$ كيلو* كالروى.

والطاقة المتولدة بإستخدام لتر واحد من الأكسجين= $\frac{686}{224 \times 6} = 5.1$ كيلو كالروى.

كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة واحد جرام جزئى من الجلوكوز $\frac{22.4 \times 6}{180} = 0.75$لتر.

كمية ثانى أكــسيد الكربــون الناتجــة مــن إحتــراق جــرام جزئــى واحــد مــن الجلوكوز=0.75لتر.

ونسبة ثانى أكسيد الكربون إلى الأكسجين الناتج من التفاعل = 1 وتسمى المقدرة التنفسية (Respiratory quotient (R)).

ومن الممكن عمل حسابات مماثلة لكل من:

الدهون Fats، البروتينات Proteins، الكربوهيدرات كما فى الجدول التالى:

الطعام والوقود Food or fuel	الطاقة المتولدة عن لتر أكسجين Energy released O_2 per Liter used K. Cal كيلو كالروى/ لتر. O_2	الطاقة الحرارية المتولدة كيلو كالروى/ جرام Caloric Value Kcal/g
كربوهيدرات Carbohydrates	5.3	4.1
بروتينات Proteins	4.3	4.1
دهون Fats	4.7	9.3

لاحظ أن:

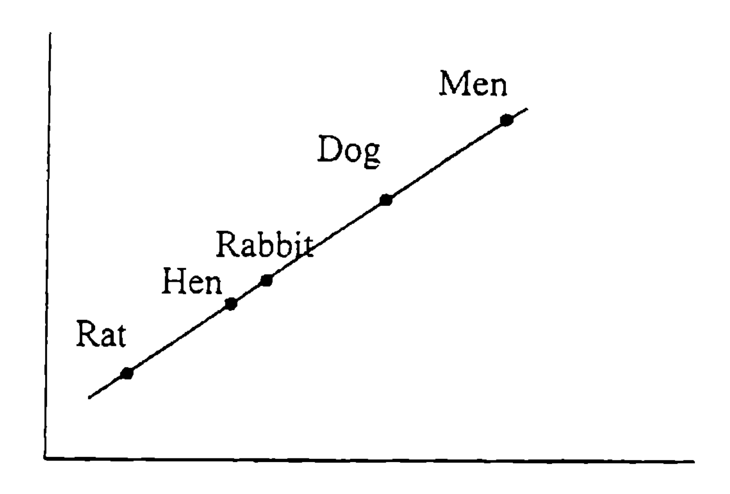
كل جزئ جرامى من الغاز عند معدل الضغط ودرجة الحرارة حجمها 22.4 لتر كما يجب أن نلاحظ أن الطاقة المتولدة تكون أقل من القيم المذكورة لأن جزء من هذه الطاقة ينطلق فى عملية الاحتراق غير التام، والمواد الغيـــر محترقـــة (unburned) والناتجة من الجسم هى البراز (feces)، البول (urine)، الغازات (flatus) والبـــاقى هى طاقة البناء (metabolicable energy).

وتقاس طاقة الطعام بوحدة كيلو كالروى (K.Cal) Kilocalories))، ويحـــسب معدل الحرارة الناتجة بوحدة كيلو كالروى/ دقيقة Kilocalories/ min، إلا أن خبراء الأغذية يحسبون طاقة الغذاء (Food energy) بوحدة الكالورى بمعنى كيلو كـــالورى أى إذا قيل 2500 كالورى/ يوم فإن المعنى المقصود هو 2500 كيلو كالورى/ يـــوم، ولا ضير فى إستخدام الوحدات المعروفة فى النظام (mks) أو (CGS) لحساب الطاقة أو القدرة المتولدة عن إحتراق الغذاء هذا ويحسب القدر المستهلك من الطاقـــة بوحـــدة (مت met) وعلاقة مت بالكورى هى:

$$1met = 50kcal/m^2.hr$$

ويكون إستهلاك الفرد العادى فى حالة السكون من الطاقة q_2 كيلو كالورى/ ساعة أو 107 وات أى فى حدود واحد مت (1 met) وهذا هو أقل معدل فى إستهلاك الطاقة ويسمى معدل البناء الأساسى Basal metabolic rate (BMR) وهو القدر الأدنـــى من الطاقة ليؤدى الجسم وظائفه (مثل التنفس وضخ الدم فى الشرايين)، ويزداد معـــدل البناء الأساسى فى الجسم وينقص فى ضوء نشاط الغدة الدرقية (Thyroid function) أى أن الجسم الذى به غدة درقية نشطة يكون معدل الأساس (BMR) أعلى من جـــسم آخر فيه غدة درقية نشاطها عادى. ويعتمد معدل البناء الأساسى (BMR) على مساحة سطح الجسم أو كتلته حتى يظهر بشكل حرارة ويفقد من الجلد.

والشكل يوضح العلاقة بين BMR وكتلة الجسم فى شكل (16-1) لحيوانات مختلفة، وقد وجد أن العلاقة خطية ومضطردة، وقد وجد أن ميل الخط المستقيم الناتج يؤكد التناسب بين BMR، كتلة الحيوان mass للأس 3/4 (أى m 3/4).



شكل (16-1)

وقد رسمت العلاقة السابقة شكل (16-1) فى ضوء حساب إحتياجات الجسم من الطعام (Food Requirements) حيث أن معدل تولد الحرارة فى جسم الكائن الحى تتناسب مع كمية طعامه وتلك بدورها تتناسب مع كتلة الكائن الحى، وكذلك فإن معدل فقدان الحرارة من جسم الكائن الحى إلى الوسط المحيط تتناسب مع مساحة سطح جسمه، أى تستطيع القول بأن كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة فى وحدة الكتل تتناسب مع الطول المميز للجسم الحى عكسيا أى أن :

$$\text{الطاقة المفقودة أو المكتسبة (الحرارة)} = \frac{\text{مساحة سطح الجسم}}{\text{حجم الجسم}} = \frac{L^2}{L^3} = \frac{1}{L}$$

ولذلك فإن أصغر الحيوانات سوف يعوض نفسه عن المفقود من الحرارة بمداومته الأكل وبذلك يأكل هذا الحيوان ما يزيد عن كتلته يومياً والفأر يأكل ما يزيد عن ربع كتلته يومياً والنوع الصغير جداً من الفئران (shrew) يموت جوعاً إذا لم يتغذى كل

أربعة ساعات، والعكس صحيح فى حالة الفيل مثلاً الذى يشعر بشكل دائم أن جلده ساخن وأنه يرغب فى تبريد نفسه فى المستنقعات (waterholes) والحشرات التى تكون مساحة جسمها السطحية إلى حجمها كبيرة نسبياً لا تستطيع أن تأكل الطعام بمعدل يسبب ثبوت درجة حرارتها وذلك لكونها من ذوات الدم البارد وأن درجة حرارتها دائماً هى درجة حرارة الوسط الذى نعيش فيه، ومن ثم تقل الحرارة المفقودة ولا يكون هناك رغبة فى الطعام.

وبذلك فإن كمية الحرارة المفقودة من سطح الجسم تتناسب مع مساحة سطحه أى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة L^2.

ونظراً لأن كتلة الحيوان (m) تتناسب مع حجمه.

$$\therefore m \alpha L^3$$

$$or \quad L \alpha m^{\frac{1}{3}}$$

ومن هنا يكون:

معدل فقدان الحرارة وإكتسابها (Rate of heat loss or gained)

$$\text{Rate of heat loss or gained}\, \alpha L^2 \alpha \left(m^{\frac{1}{3}} \right)^2 = m^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

ويمكن القول أن معدل فقدان أو إكتساب كمية الحرارة فى جسم الكائن الحى أو أى تغير فى أى عملية بناء (metabolic process) (مثل إستهلاك الأكسجين مثلاً Rate of oxygen consuming سوف يتناسب مع كتلة الجسم للأس (2/3).

وقد رسمت هذه العلاقة كما فى شكل (16-1) إلا أن النتائج العملية كانت صحيحة عندما يكون التناسب مع الكتلة ذات الأس (3/4) وليست (2/3) ولإجراء هذا التصحيح أفترض (Thomas memahon) أن جسم الحيوان يتكون من أجزاء أسطوانية مثل العمود الفقرى، الرأس، الساق، الذراع فى جميع الحيوانات ومن بينها الإنسان تبدو

أسطوانية الشكل وبذلك تكون كتلة كل جزء متناسبة مع مساحة قاعدة الاسطوانة فــى طول الاسطوانة **أى أن :**

$$(mass) m \alpha \ell d^2 \quad (4)$$

ℓ طول الاسطوانة (الجزء أسطوانى)، d نصف قطرها.

(وبدلاً من إستخدام طول واحد مميز يجب إستخدام طولين مميزين همــا طــول الاسطوانة ونصف قطرها)، وقد حاول الوصول إلى علاقة تــربط كــلا مــن d، ℓ، وأفترض أن طول الجزء الأسطوانى (ℓ) يستطيع أن يدعم نفسه ويتناسب مع نــصف قطره للأس (2/3).

$$\ell \alpha d^{\frac{2}{3}} (5)$$

أى أن :

كما وقد حاول تطبيق هذا القانون على كلٍ من النبات والحيــوان معتبــراً كتلــة الحيوان m.

أى أن:

$$\therefore m \alpha \ell d^2 \alpha d^{\frac{2}{3}} d^2 = d^{\frac{8}{3}} \qquad (6)$$

فإذا أخذنا عضو نصف قطره d ومساحة مقطعه تتناسب مع d^2 فإن قوة العضلة تتناسب مع معدل فقدان كمية الحرارة منها وكمية الحرارة هذه تتناسب مــع مــساحة مقطع العضلة **أى أن :**

$$\text{The muscle heat production or loss } \alpha d^2 \alpha \left(m^{\frac{3}{8}} \right)^2 = m^{\frac{3}{4}}$$

وبذلك تكون عملية البناء فى الجسم الحى (BMR) تتناسب مع كتلة الجسم الحى للأس (3/4) وأن العلاقة فى الشكل (16-1) صحيحة.

كما يجب أن نلاحظ أن عملية الأيض (البناء) فى أى حيوان مرتبطة بالمعدل الذى يمد الدم بالأكسجين ومعدل الإمداد بالأكسجين يتناسب مع حجم الرئة ومعدل مرات التنفس (Respiratory rate or Respiratory frequency).

أى أن معدل إكتساب الحرارة أو فقدانها α حجم الرئة× عدد مرات التنفس.

$$\therefore \text{ Rate of heat gain or loss } \alpha \quad \text{Lung volume} \times \text{Respiratory frequency}$$

$$(R.H.p)\alpha V_L \times f_r \qquad (7)$$

ولكن حجم الرئة يتناسب مع حجم أو كتلة الحيوان.

أى أن :

$$V_L \alpha m$$

أى أن :

$$f_r \alpha \frac{R.H.P}{V_L} = \frac{m^{\frac{3}{4}}}{m} = m^{\frac{-1}{4}} \qquad (8)$$

وقد وجد عمليا أن معدل التنفس ونبضات القلب يحقق القانون.

$$f_r \alpha m^{\frac{-1}{4}}$$

ومن (8) فى (7) :

$$\therefore R.H.P \alpha m \times m^{\frac{-1}{4}} = m^{\frac{3}{4}}$$

كما أوضحنا فى شكل (16-1).

وخلاصة القول أنه كلما زادت كتلة الجسم كلما زادت معدلات البناء الأساسية (BMR).

ومعدل البناء (metabolic rate) فى الجسم يعتمد على درجة حرارة الجسم والعمليات الكيميائية اللازمة لذلك تعتمد بدرجة كبيرة على درجة حرارة الجسم أيضا، وكل تغير ولو صغير فى درجة حرارة الجسم يؤدى إلى تغير كبير فى معدل التفاعلات الكيميائية.

وعلى سبيل المثال فإن تغير قدره 1°م فى درجة حرارة الجسم يؤدى إلى تغير قدره 10% فى معدل البناء metabolic rate وكذلك إذا كان هناك مريض درجة حرارته 40°م أى زادت درجة حرارته بمقدار 3°م فوق درجة الحرارة العادية فإن معدل البناء يزداد بمقدار 30% أكبر من الشخص العادى.

وبالمثل إذا نقصت درجة حرارة مريض بمقدار 3°م فإن معدل البناء يقل بمقدار 30% عن الشخص العادى.

ومما سبق نرى أن البيات الشتوى (hibernating) ظاهرة مفيدة للحيوانات عند درجات الحرارة المنخفضة. ويكون ذلك هو السبب فى إنخفاض درجة حرارة المريض عند إجراء عمليات جراحية فى القلب (Heart surgery). ولكى نحافظ على وزن ما ثابت لشخص ما فإنه يجب أن يستهلك كمية من الطعام تكون كافية للمحافظة على المعدل الأساسى للبناء (BMR) كما تعطيه الطاقة اللازمة لجميع نشاطاته. ومن الجانب الآخر فإن الطعامم القليل يؤدى إلى نقص الوزن والاستمرار فى عملية تقليل الطعام يؤدى إلى الموت جوعا (starvation).

الشغل والقدرة work and power

يستطيع الجسم أن يبقى على الحياة ويتمتع بكامل حيويته مع أدائه لواجبات الحياة فى حركة منقطعة النظير، كما سبق أن أوضحنا.

فالجسم حين يتحرك يقوم بعمل شغل، شغل خارجى وهو يحسب **كالآتى:**

$$\Delta w = F.\Delta x$$

شريطة أن تكون القوة F فى إتجاه المسافة Δx .

والمعدل الذى يبذل به الجسم الشغل فى وحدة الزمن هو القدرة p أى أن:

$$p = \frac{\Delta w}{\Delta t} = F\frac{\Delta x}{\Delta t} = F.\upsilon$$

حيث υ سرعة الجسم أثناء الحركة.

والشغل الذى يبذله الجسم فى صعود جبل أو إرتقاء سلم يعطى **بالعلاقة:**

$$\Delta w = mg.\Delta h$$

حيث Δh هى إرتفاع أو المسافة الرأسية، g التسارع الجذبى الأرضى.

وعندما يتحرك جسم ما بسرعة ثابتة على مستوى سطح فإن معظم القوى الفاعلة تكون عمودية على إتجاه حركته الأمر الذى قد يفهم منه أن الشغل المبذول يساوى صفر إلا أن الشغل المبذول يكون هو الشغل الذى تبذله العضلات ويسمى بالشغل الداخلى (internal work) وهو يظهر بشكل حرارة فى العضلات ويسبب إرتفاع درجة حرارة الجسم، ويمكن إزالة الحرارة التى تظهر فى العضلات بسريان الدم فى العضلات أو بالتوصيل من خلال الجلد أو بالعرق.

ومثال ذلك أنه يمكن حساب الشغل المبذول بواسطة راكب دراجة ثابتة (ergo meter) وذلك بقياس القوة المقاومة لحركة البدال، ويأخذ الزمن فى الاعتبار وبالتالى يمكن حساب قدرته.

وكفاءة جسم الكائن الحى ككفاءة آلة يمكن أن نحصل عليها من العلاقة **الآتية:**

$$\eta = \frac{\Delta w}{E} = \frac{work\,done}{Energy\,consumed}$$

ويمكن حساب الطاقة المستهلكة (Energy consumed) من طاقة الطعام (Food energy) حيث أن 5 كيلو كالورى يمكن الحصول عليها من إستهلاك لتر من الأكسجين.

والقدرة والكفاءة متلازمين فإذا زادت القدرة زادت الكفاءة وتزداد الكفاءة بالتدريب فاللاعب المدرب تصل كفاءته فى سباق الدرجات إلى 20%. وذلك بزيادة قدرته الناتجة عن زيادة معدل البناء (metabolic rate).

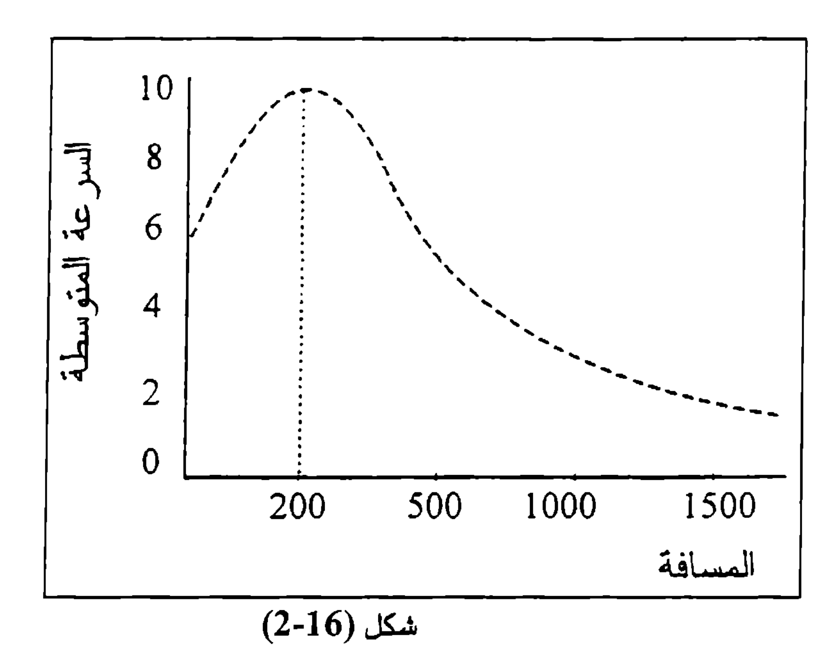
فإذا كان اللاعب يتحرك على مستوى أفقى بسرعة ثابتة فإنه لا يوجد تغير فى طاقة حركته وتكون كل قدرته موجهة لمقاومة الرياح والاحتكاك. والسعة القصوى للجسم متغيرة، فالنشاطات التى تتم خلال فترات زمنية صغيرة يستطيع الجسم أن يؤديها بكفاءة عالية والعكسى صحيح فى حالات العمل فى فترات زمنية كبيرة، وقد وجد أن القدرة على العمل لفترات زمنية طويلة يعتمد على أقصى معدل لإستهلاك الأكسجين فى العضلات المشاركة فى العمل.

وقد وجد أن ذلك يكون بمعدل $m\ell/kg$ 50 من وزن الجسم فى الدقيقة.

ومثال ذلك:

سرعة الجرى Running speed :

يحتفظ العداء بأقصى سرعة له (Top speed) زمن محدود، وبذلك تكون السرعة المتوسطة للجرى مسافات طويلة أقل من أقصى سرعة، وقد وجد عمليا أن السرعة المتوسطة تقل بزيادة المسافة، ووجد أن السرعة المتوسطة هذه تزداد أولا فى حالات الجرى مسافات قصيرة (200 متر فأقل) ثم تقل بعد ذلك بإنتظام. شكل (2-16).



شكل (2-16)

والمنحنى يوضح أن العداء حين يعدوا يعجل نفسه إلى أقصى سرعة (Top speed).

فإذا فرض أن السرعة القصوى لعداء كانت 10.5 متر/ ثانية وتسارعه فى حدود 2 متر/(ثانية)^2 فإن سرعته المتوسطة لابد أن تكون أقل 10.5 متر/ ثانية فى كل المسافة وذلك لكون سرعته فى وقت التسارع تكون نصف سرعته القصوى أى أن سرعته المتوسطة لمسافة جرى (المارسون) قدرها 200 متر تكون أكبر من سرعته المتوسطة لمسافة جرى قدرها 100 متر وذلك لكون سرعته لوقت طويل فى المسافة الأولى كانت أقصى سرعة وأن أحتفاظ العداء بأقصى سرعة أكبر وقت ممكن يزيد من سرعته المتوسطة ولكن العداء لا يستطيع ذلك بالرغم من أن السرعة المتوسطة تزداد فى المسافات الأقل من 200 متر فإنها بعد ذلك تبدأ فى التناقص بشكل منتظم كما فى شكل (2-16).

والسبب أن العداء لا يستطيع الاحتفاظ بسرعته القصوى هو أن الإمداد بالأكسجين يكون غير كاف، وذلك لكون الجسم أستنفذ الأكسجين المخزن فى العضلات فى المسافة

الأولى من لسباق حيث وصل به إلى السرعة القصوى، وبعدها يكون الإمداد بالأكسجين لا يواكب إحتياجات الجسم رغم زيادة معدلات التنفس، وقد وجد أن مخزون الأكسجين فى العضلات ينفد عند المسافة فى المدى من 200-250 متر ولذلك فإن العداء فى المسافات الطويلة فى الجرى يوطن نفسه على العدو بسرعة أقل من سرعته القصوى ويختارها العداء بخبرته حتى يواكب الإمداد بالأكسجين إحتياجات جسمه طوال مسافة السباق. (عمليات تحتاج أكسجين aerobic).

الجرى للقفز الطويل The running long jump :

تستخدم نظرية المقذوفات فى حالة القفز، فعند نقطة المغادرة مركبات سرعة القافز تكون υ_{ox} فى الاتجاه الأفقى، υ_{oy} فى الاتجاه الرأسى.

وبالنسبة للمركبة الأفقية υ_{ox} للعداء هى 10.5 متر/ ثانية، وبالنسبة للمركبة υ_{oy} هى السرعة التى يقفز بها القافز إلى أعلى راسيا وهى لا تتعدى 0.6 متر.

وفى ضوء ذلك فإن المركبة الأفقية تكون ثابتة ومركبة السرعة الرأسية هى السرعة التى تمكنه منها عضلة الرجل وتدفعه إلى الأعلى وبذلك تكون مركبات السرعة :

$$\upsilon_{ox} = 10.5 m/s$$

$$\upsilon_{oy} = \sqrt{29h} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.6} = 4.85 m/s$$

وبذلك تكون السرعة الابتدائية للحركة هى :

$$\upsilon_{o} = \sqrt{v_{ox}^2 + v_{oy}^2} = \left[\left(10.5^2\right) + (4.85)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\upsilon_{o} = 11.6 m/s$$

وزاوية القفز هى: $$\theta = \tan^{-1}\frac{\upsilon_{oy}}{\upsilon_{ox}} = \tan^{-1}\frac{4.85}{10.5} = 25^0$$

والمدى الذى يقطعه القافز R يعطى بالعلاقة :

$$R = \frac{\upsilon_0^2}{g} \sin 2\theta = 10.5m$$

السـرعة النهائيـة Terminal velocity

عند السقوط من إرتفاع ما (دور ثالث مثلا) فإن الساقط يعانى من نتائج خطيرة ولكن إذا كان الساقط حيوان صغير أو حشرة صغيرة فإنها لا تعانى من هذا الموقف أية شئ بل وقد تسقط ثم تتحرك بسرعة.

والسبب فى ذلك أن النسبة بين مساحة سطح جسم هذه الحيوانات أو الحشرات إلى حجمها كبيرة نسبيا، ونظرا لكبر هذه النسبة فإنه عند سقوطها تكون مقاومة الهواء لها كبيرة وتقاوم جذب الأرض لها وتمنع سرعة السقوط من أى تتعدى حد معين.

ونظرا لأن سرعة السقوط تزداد بقوة جذب الأرض إلى أسفل وهى تتناسب طرديا مع كتلة الجسم الساقط (أو حجمه)، والقوة المقاومة للهواء تعتمد على مساحة مقطع الجسم الساقط.

فإذا تساوت قوة الجذب إلى أسفل وقوة مقاومة الهواء إلى أعلى فإن الجسم يسقط بسرعة ثابتة تسمى بالسرعة النهائية Terminal velocity وكلما كانت النسبة بين مساحة سطح الجسم وحجمه كبيرة كانت السرعة النهائية صغيرة.

والسرعة النهائية لسقوط الإنسان فى حدود 65 متر/ ثانية وذلك فى حالة نشر ذراعيه ولكن إذا إنكمش الإنسان على نفسه بشكل كرة فإن السرعة النهائية تكون فى حدود 105 متر/ ثانية، وقد وجد أن أقصى سرعة نهائية للحشرات تكون أمتار قليلة ثابتة، الأمر الذى يمكنها هى والحيوان الصغيرة من تفادى الآثار الضارة للتصادم حين السقوط وتسقط بشكل آمن.

قوة كسر العظام فى القفز

Bone breaking force in jumping

عندما يسقط شخص من إرتفاع ما أو من قفزه على أرض سطحها صلب فإن إجهاد شديد جدا يقع على عظمة الساق الأمامية (عظمة طويلة تسمى Tibia) ويكون الاجهاد أقصى ما يكون عند النقطة التى يكون فيها مساحة مقطع الساق أقل ما يمكن وهى المنطقة فوق الكعبين (ankle)، وسوف تتكسر الساق من المكان المشار إليه إذا كانت قوة التصادم تزيد عن 50 نيوتن، أما إذا سقط القافز على قدميه الأثنين بشكل قائم (squarely) فإن قوة التصادم سوف تكون ضعف هذه القيمة على كل قدم أى 105 نيوتن.

وتحسب هذه القوة كما يلى :

قوة التصادم على عظمة الساق تساوي كتلة الساقط مضروبة فى متوسط التسارع للحركة قبل التصادم.

أى أن :

$$F = m.\bar{a}$$

والسرعة المكتسبة فى حالة سقوط جسم من السكون خلال إرتفاع قدره (H):

$$\upsilon^2 = 2gH$$

ومتوسط التسارع $\bar{a}$ والتى يتحرك بها جسم سرعته υ من مسافة قدرها h قبل **التصادم :**

$$\upsilon^2 = 2ah$$

$$\therefore a = g\frac{H}{h}$$

وعلى ذلك تكون قوة التصادم:

$$F = m.g\frac{H}{h}$$

حيث $\frac{H}{h}$ النسبة بين إرتفاع السقوط (H) إلى المسافة التى يحدث فيها عجلة تقصيرية حتى السكون.

والشخص الذى يسقط حاد دون أن يثنى ركبتيه تكون المسافة H فى حدود 1 سم، وبذلك تكون قوة التصادم مساوية 130 مرة وزن الجسم الساقط

أى أن :

$$H = \frac{F.h}{mg} = \frac{130mg \times 0.01}{mg} = 1.3m$$

أى أن السقوط على أرض صلبة من إرتفاع 1.3 متر يؤدى إلى كسر الساق (Tibia) ولكى يثنى الركبتين خلال السقوط (landing) فإن مسافة تقصير العجلة h تزداد وتصل قيمتها إلى 0.6 متر كما فى حالة القفز إلى أعلى.

لاحظ أن 0.6 متر أكبر مما ذكر فى المثال السابق 60 مرة وهذا يبدو وكأن شخص سقط من إرتفاع (H).

$$H = 60 \times 1.3m = 87m$$

وكأن التحايل بثنى الركبتين يمكن القافز من إرتفاع قدره هذه القيمة دون أضرار، والسبب فى ذلك أن القوة التقصيرية تقع جميعها على الأحبال وروابط مفصل الركبة الأمر الذى يقلل العوامل المسببة إلى الكسر إلى $\frac{1}{20}$ من قيمتها الحقيقية أى أن الارتفاع الذى ذكر وقيمته 78 متر يؤثر كما لو كان فقط 3.9، أى أن السقوط الآمن لا يتأتى من فراغ ويحتاج تدريب وإلا ظل الاسقوط والقفز مخاطرة.

ويستطيع الأشخاص المدربين على القفز من إرتفاعات عالية وخصوصا إذا كان السقوط على أرض رخوة مثل الماء العميق والثلج الإسفنجى (soft snow). وقد سجلت الدوائر الرسمية للأبطال كثير من هذه الأعمال مثل القفز من الطائرات والسباحة فى الهواء، والقفز من قمم الجبال وخصوصا إذا لم يكن هناك بديل.

الحرارة المفقودة من الجسم Heat losses from the body

الطيور والثدييات (mammals) تعرف على أنها ذوات الدم الحار (warm-blooded or home thermic) وبقية الحيوانات تعرف على أنها ذات الدم البارد (cold-blood or poikilo thermic) وذلك مثل الضفدعة والثعبان. ودرجة حرارة جسمها فى الأيام الحارة تكون أكبر من درجة حرارة أجسام الثديات لأنها لا تتمتع بآلية تثبت درجة حرارة جسمها مهما تغيرت الظروف البيئية كما هى الحالة فى الثدييات وذلك يؤدى بدوره إلى أن تؤدى الثدييات عملية البناء بمعدل ثابت مهما كانت برودة الجو. ونظرا لثبوت درجة الجرارة هذه فى بنى البشر فإن عندها مخزون من الحرارة طالما هى على قيد الحياة، وعندما تتوقف عملية البناء بالموت فإن الجسم يشع حرارته إلى الوسط بمعدلات كبيرة حتى يبرد الجسم وتتزن درجة حرارته مع الوسط المحيط. أى أنه بمعرفة درجة حرارة الجسم يمكن معرفة متى كانت الوفاة.

ودرجة حرارة جوف الإنسان العادى الصحيح 37 ْم لأنه مزود بثرموستات مثل ذلك المستخدم فى غرف التبريد إلا أنه أدق وأدوم ويوجد تحت المركز البصرى (Hypothalamus) فى المخ فإذا إرتفعت درجة حرارة جوف الإنسان لأى سبب فإن الهيبوثالمس يأمر بإفراز العرق ويوسع الشرايين (vasodilatation) حتى ترتفع درجة حرارة الجلد وبالتالى تزداد كمية الحرارة المفقودة إلى الوسط المحيط، وإذا حدث العكس أى أنه إذا إنخفضت درجة حرارة الجلد فإن المجسات الحرارية (أعصاب خاصة لرصد درجة حرارة الجلد) (Thermoreceptors) على الجلد تعلم الهيبوثالمس الذى يولد رعشة (shivering) ويسبب إرتفاع درجة حرارة جوف الإنسان core

temperature ومعدل إنتاج الحرارة فى الجسم هو 2400 كيلو كالورى/ يوم أى فى حدود 1.7 كيلو كالورى/ دقيقة، والجسم يفقد هذه الحرارة بنفس المعدل إذا كانت درجة حرارته ثابتة، وتعتمد كمية الحرارة المفقودة من الجسم سواء بالإشعاع، بالحمل أو بتبخير العرق أو بالتنفس **على العوامل الآتية** :

1. درجة حرارة الوسط المحيط.
2. الرطوبة النسبية.
3. سرعة الهواء.
4. نشاطية الجسم نفسه (physical activity).
5. الجزء المعرض من الجسم للعوامل البيئية.
6. مقدار العوازل حول جسم الإنسان (ملابس ودهون)

وحسب قانون إستيفان (Stefan law) فإن كمية الحرارة المفقودة من الجسم تتناسب مع درجة حرارته للأس الرابع(T^4) والجسم كذلك يمتص حرارة من الوسط، والعلاقة التالية تعطى الفرق بين الحرارة المفقودة والحرارة الممتصة بالإشعاع (Radiation).

$$H_r = k_r A_r e(T_s - T)$$

H_r هى معدل فقدان أو إكتساب الحرارة بالإشعاع، A_r هى المساحة السطحية للجسم الذى يعطى الإشعاع. e هى إشعاعية السطح (Emissivity)، T_s هى درجة حرارة الجلد T، ودرجة حرارة الوسط المحيط، Kr ثابت وقيمته 5 كيلو كالورى/ متر^2. ساعة °م وقيمة e=1 بمعنى أن الجسم تام الإشعاع وتام الامتصاص فى حالة الإشعاع الحرارى (IR).

وتعطى كمية الحرارة المفقودة بالحمل (convection(H_c)) **بالعلاقة** :

$$H_c = k_c A_c (T_s - T_a)$$

K_c ثابت يعتمد على حركة الهواء، T_a درجة حرارة الهواء عندما يكون الجسم ساكن ولا تكون هناك رياح محسوسة فإن $K_c = 2.3$ k.cal ، وعندما تكون درجة حرارة الهواء $T_a = 25c$ فإن درجة حرارة الجلد تكون 34 والمسافة المؤثرة $A_c = 1.2$ متر ^{2} فإن الجسم العريان (nude) يفقد ما يساوى 25% من حرارته.

وعندما يتحرك الهواء فإن قيمة k_c تزداد **فى ضوء العلاقة** :

$$k_c = 10.45 + v + 10\sqrt{v}$$

حيث v هى سرعة الرياح.

ودرجة الحرارة المكافئة الناتجة عن حركة الهواء تسمى معامل البرد chill factor ويعين بدرجة الحرارة الفعلية وسرعة الرياح.

مثال ذلك، عندما تكون درجة الحرارة (20-) م وسرعة الرياح 10 متر/ ثانية (تجمد حاد stiff breeze) فإن أثر البرد على الجسم يكون كما لو كانت درجة الحرارة (40-م) فى يوم هادئ (رياح غير محسوسة).

وطرق فقدان الحرارة من الجسم فى الظروف العادية هى طريقة تبخير العرق، وعندما تكون الظروف غير عادية فإن الفرد يعرق فى حدود لتر كل ساعة ونظرا لأن كل جرام ماء يتبخر من جسم الإنسان يحمل معه 580 كيلو كالورى، (الحرارة الكامنة لتبخير الماء) فإن تبخير لتر من الماء يحمل الجسم على فقد 580 كيلو كالورى، وتعتمد عملية تبخير العرق على سرعة الرياح والرطوبة النسبية.

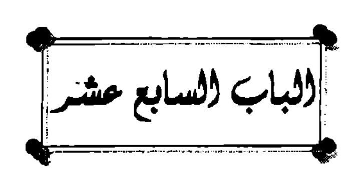
ويفقد جسم الإنسان كمية الحرارة عن طريق التنفس حتى ولو لم يشعر الجسم بعرق، كما يفقد كمية أخرى فى تبخير الرطوبة من الرئتين، وكذلك حينما يتنفس الهواء البارد فإن الهواء هذا يسخن إلى درجة حرارة الجسم ويفقد حرارته.

ونظرا لأن إشعاع الحرارة من الجسم إلى الهواء تعتمد على درجة حرارة الجلد فإن أى عامل يؤثر على درجة حرارة الجلد يؤثر على كمية الحرارة المفقودة.

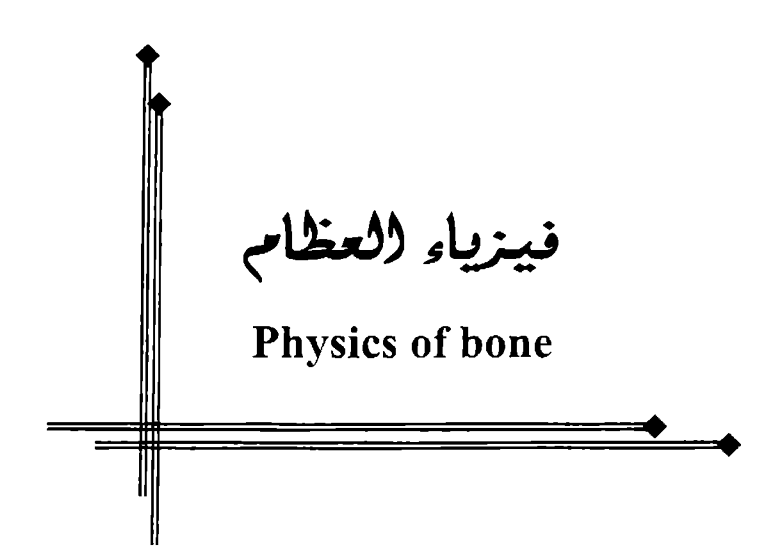
والجسم تمكنه ملكاته من إختبار طريق عودة الدم من الأطراف (اليد، الرجل) إلى القلب، ففى حالة الأجواء الباردة يعود الدم إلى القلب من خلال أوعية داخلية وقريبة من الشرايين التى تحمل الدم من القلب إلى الأطراف وبذلك يستغل قدر من حرارة الشرايين فى تسخين الدم العائد إلى القلب وبذلك تبرد الأطراف وتقلل المفقود من الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط، أما فى حالة أيام الصيف أو البيئات الدافئة فإن الدم يعود إلى القلب من خلال أوردة قريبة من سطح الجلد فترتفع درجة حرارة الجلد وتزيد كمية الحرارة المفقودة منه إلى الوسط.

والدراسة التى تمت حتى الآن على جسم عريان (nude body) وذلك غير طبيعى حيث من الطبيعى أن يكون حول جسم الإنسان سواتر، وقد وجد أن درجة الحرارة المناسبة والمريحة للإنسان هى 30°م، ويمكن الوصول إلى هذه الدرجة بضبط نوع ثياب الإنسان مع ما يؤديه من عمل، بحيث تكون درجة حرارة البيئة حوله 21°م وتكون سرعة الرياح 0.1 متر/ ثانية، وإذا تم ذلك بهذه الطريقة دون إنحراف عنها سمية (واحد كلو clo) أى أن وحدة جديدة يقاس بها المفقود أو المكتسب من الحرارة فى جسم الإنسان المغطى بلباس يقية سوء الجو، ويتحقق واحد كلو clo إذا لبس الإنسان بدلة خفيفة فى وسط درجة حرارته 21°م وسرعة الرياح 0.1 متر/ ثانية.

وبذلك يكون واضح أن ملابس تقى الإنسان بقيمة قدرها 2 كلو clo تحميه من جو أبرد أكثر من 1 كلو clo، وبذلك يحتاج الإنسان إلى عدد أكبر من لكلو clos فى حالة الكسل عن حالة النشاط وقد دلت الدراسات على أن الكائنات الحية ومن بينها الإنسان والتى تعيش فى أقصى أقطاب الأرض (شمالى وجنوبى) تحتاج ملابس عزلها أكبر من 4 كلو clos [فرو الثعلب له عزل قدره 6 كلو clos].



الباب السابع عشر



فيزياء العظام

Physics of bone

الباب السابع عشر

فيـــزيـــاء العظـــام

Physics of bone

مقـــدمـــة:

تتميز العظام بأهمية خاصة لكونها قوية ومعمرة وقد إستخدمت قديماً فى صناعة الآلات والأسلحة والقطع الفنية وهى تحمل سجلاً طبيعياً لتطور الحياة ومنها يمكن تتبع العرقية (cultural) فى جنس ما.

وقد أهتم بالعظام كثير من المختصصين مثل المهندسين والفيزيائيين فضلاً عـــن الأطباء الذين هم أهل الفن والمبدعين فيه، والسبب فى إهتمام غير الأطباء بالعظام فى أنها قوام الجسم للكائن الحى وعليها تقع قوى كثيرة سواء كانت ســاكنة أو متحركــة ودراسة هذه القوى ساعد على تفهم وظيفة العظام فى خدمة جسم الكائن الحـــى كمـــا تساعد على تصميم العظام البديلة من حيث الكم والكيف والملائمة فى حال الاحتياج.

ومهمة العظام فى الجسم هى :

1) الدعم.

2) إعطاء الجسم قوة.

3) حماية الأعضاء.

4) تخزين الكيماويات.

5) نقل الأصوات.

6) وقد يكون لها دور فى التكاثر فى بعض الأجناس.

مكونات العظام Bones contents

تتكون العظام من المكونات الموجودة فى جدول (1-17) :

H	C	N	O	Mg	P	S	Ca	Miscellaneous
3.4	15.50	4.00	44.00	0.20	10.20	0.30	22.20	0.20

ونظراً لأن نواة ذرة الكالسيوم أثقل من باقى المكونات فإنها تمتص قدر أكبر من الأشعة السينية التى تسقط على العظام وبذلك تظهر صور العظام بشكل أوضح مما يحيط بها من أنسجة.

وتتكون العظام من مادتين مختلفتين بالإضافة إلى الماء:

1) **النسيج الضام (collagen):** وهى مادة بروتينية من مكونات العظام ينتج عنها الهلام عند التسخين وهو الجزء العضوى فى العظام ويكون ما يساوى 40% من وزن العظام الصلبة ويكون حوالى 60% من حجمها.

2) **معادن العظام (Bone minerals):** وهى المركبات الغير عضوية فى العظام وتكون حوالى 60% من وزن العظام كما تكون 40% من حجمها. والمركبات معاً يعطيا العظام حيويتها وقوتها وإذا غابت المعادن أصبحت العظام عبارة عن قطعة مرنة من النسيج الضام يمكن ثنيها وطيها وإذا غاب النسيج الضام إزدادت هشاشة العظام وأمكن سحقها بأى مؤثر. ويتكون النسيج الضام من الخلايا العظمية (Osteoblastic) ثم تحيط المعادن وتتكون العظام.

والنسيج الضام للعظام يختلف عنه فى أجزاء أخرى من الجسم مثل الجلد. ومعادن العظام عبارة عن بلورات بشكل قضبان أبعدها دقيقة وصغر هذه الأبعاد البلورية أدى

إلى كبر المساحة السطحية لها، (وهى فى حدود 10^5 متر^2) يوجد حول كل بلورة طبقة من المياه محتوية على محاليل كثيرة من الكيماويات التى يحتاجها الجسم، وللمساحة الكبيرة لبلورات معادن العظام تسمح للعظام بالتفاعل السريع مع الكيماويات الموجودة فى الدم والموجودة فى سوائل أخرى فى الجسم، وعلى سبيل المثال فى خلال دقائق قليلة إذا حقن الجسم بالفلور المشع (^{18}F) فإن الفلور المشع ينتشر فى كل عظام الجسم، وبهذه الطريقة يمكن تحديد موضع الورم فى العظام (Bone tumors).

أشكال العظام Bones shape

يمكن تقسيم عظام الجسم من حيث الشكل إلى:

1. عظام صغيرة وعريضة، بشكل ألواح مثل عظمة الكتف (shoulder blade (scapula)).
2. عظام طويلة فارغة مثل الذراع، الرجل، الأصابع.
3. عظام إسطوانية بشكل أو بآخر مثل فقرات العمود الفقرى.
4. عظام غير منتظمة مثل عظام المعصم والكاحل (wrist and ankle).
5. عظام على شكل الضلوع. بالإضافة إلى عظام الجمجمة وكل هذه الأنواع تسمى دعامات.

وتنقسم العظام من حيث النوع إلى النوعين :

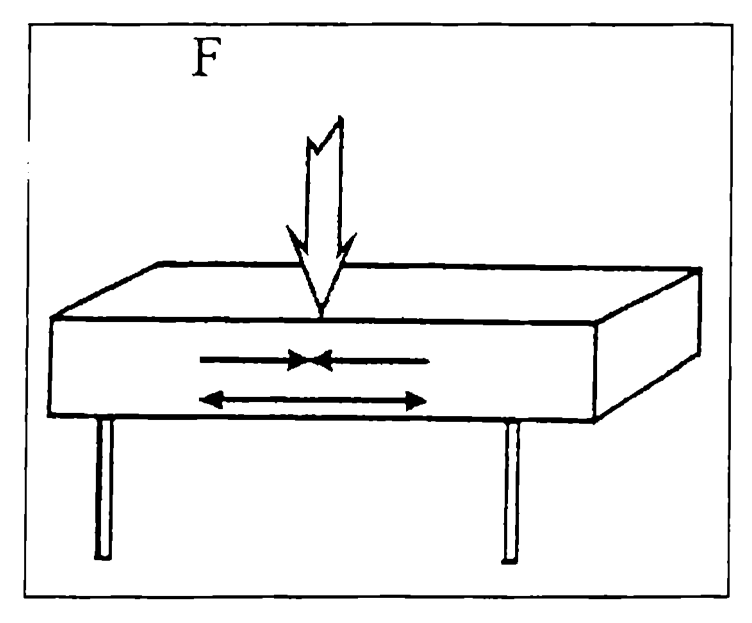
1. عظام صلبة مصمتة (مكدسة) (solid or compact).
2. عظام إسفنجية (spongy cancellous).
3. عظام مفرطحة (Trabecular).

والأجزاء المفرطحة من العظام تكون فى الأطراف بينما الأجزاء الوسطى تكون صلبة ومصمتة، وذلك لكون العظام المفرطحة تكون ضيقة عن العظام الصلبة نظرا لقلة كمية العظام فى وحدة الحجوم، والعظام الهشة (osteoporotic) عادة تكون ضعيفة.

والعظام الموجودة فى الجسم بشكلها التى هى عليه تعتبر التصميم المثالى لأداء مهمتها (أفحص عظمة الفخذ Femur).

مرونة العظام Bone Elasticity

والإجهاد فى العظام يمكن دراسته كما لو كانت العظام قضيب من مادة صلبة مرنة، فإذا فرض أن لدينا قضيب وضع أفقيا كما فى الشكل (17-1) وأثرت عليه قوة من أعلى عند منتصفه فإن القضيب سوف يستطيل من جانبه السفلى وينكمش من جانبه العلوى كأثر للإجهاد الواقع عليه فى المنتصف، ولذلك يستخدم قطبان مادتها من أعلى أكثف من مادتها من أسفل فى القضبان شكل (17-1)



شكل (17-1)

ولكن عندما تكون القوى المتوقعة على القضيب تكون من كل الجهات فإن القضبان الأسطوانية هى أنسب الأشكال حيث تتحمل أكبر إجهاد على أقل كمية من المادة، ولذلك كان الشكل الغالب للعظام هو شكل الاسطوانة المفرغة والتى تكون أطرافها تحتوى قليل من المادة فى وحدة الحجوم بينما منتصفها يحتوى كثير من المادة فى وحدة الحجوم الأمر الذى يؤكد عظمة تصميم العظام.

والشكل المفرطح لأطراف العظام (trabecular) عند نهايتى عظام الفخذ هو أيضاً الشكل المثالى ليتحمل ما يقع عليه من قوى الإجهاد.

والشكل المفرطح لنهائيات العظام يعطيها مرونة زائدة وبذلك تستطيع امتصاص مزيداً من الطاقة عندما يقع عليها إجهاد كبير فى حالات المشى والجرى والقفز.

وتركيب العظام الذى ذكر سلفاً من نسيج ضام ومعادم تجعل مادتها قوية مثل الجرانيت فى حالة إجهاد الضغط (compression) وأقوى من الجرانيت بحوالى عشرون مرة فى حالة إجهاد الشدة (tension).

وكثافة العظام تعطى مؤشر على تكدس (compactness) مادتها وهى ثابتة على مدى حياة الجسم وتكون قيمتها 1.9 جرام/ سم^3، وفى الأعمارالمتقدمة تنخر العظام وتبدو وكأنها خفيفة لا بسبب نقصان كثافتها ولكن بنقص مادتها بينما تظل الكثافة 1.9 جرام/ سم^3 للأجزاء الغير نخرة، وسوء الفهم الذى يحدث تداخل بين كثافة العظام وكتلة العظام ناتج من أن صور الأشعة السينية للعظام تعطى فكرة عن كتلة العظام وليس كثافتها والحديث عن الكثافة يكون عن الكثافة الضوئية لصورة الأشعة السينية.

وعند قياس الاستطالة الحادثة فى عظام عرضت لإجهاد شد أو إجهاد ضغط فإن قانون هوك للمرونة يسود بحيث يتناسب إجهاد العظام وإنفعالها طرديا أى أن :

$$\frac{F}{A} \alpha \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

حيث ℓ الطول الأصلى للعظام المعرضة لقوى الإجهاد F، $\Delta\ell$ هى الاستطالة، A مساحة مقطع العظام، Y معامل المرونة الطولى أو معامل ينج (young).

وتظل العظام مرنة إلى أن تصل إلى حد الكسر عند إجهاد 120 نيوتن/ مم^2، والجدول التالى (17-1) يوضح قيم الإجهاد ومعامل المرونة للعظام وبعض المواد الأخرى **للمقارنة:**

المادة material	إجهاد الكسر بالضغط compressive Breaking Stress (N/lmm^2)	إجهاد الكسر بالشد Tensile Breaking stress (N/mm^2)	معامل المرونة modulus of Elasticity 10^2 × (N/mm^2)
صلب قوى Hard steal	550	820	2090
جرانيت Granite	140	4.00	512
خرسانة مسلحة Concrete	19	2.0	160
عظام كثيفة compact	175	125	185
عظام مفلطحة trabeular	2.5	--	0.8

وعندما يأتى الجسم بأفعال خارقة تتولد فيه قوى كبيرة جدا فأثناء حمل ثقل كبير تتولد فى عظام الظهر السفلى عند الانحناء قوى كبيرة تمكنه من حمل الثقل الذى أراده وكذلك تتولد قوى كبيرة فى حالات المشى والجرى كما ذكر سلفا- ففى حالة الجرى تكون القوى على عظمة الفخذ أربعة أمثال وزن الجسم- وفى حالة المشى فإن القوى على هذه العظمة تكون ضعف وزن الجسم.

وتصميم العظام ضمن لها معامل أمان كبير فى تدعيم الجسم فى حالتى السكون والحركة، والجدول السابق يبين أن العظام الصحيحة المكدسة (compact bone) تتحمل إجهاد ضغط قدره 175 نيوتن/ مم^2 قبل الكسر وهذا الإجهاد بالمقارنة يكون أكبر بكثير من إجهاد الكسر فى كل من الجرانيت والخرسانة المسلحة.

وإذا علمت أن عظمة الفخذ مساحة مقطعها عند المنتصف فى حدود 3.2 سم^2 لعلمت أنها تتحمل قوة إجهاد قدرها 6×10^4 نيوتن، ومساحة مقطع عظمة ساق الرجل ((shin_boner (Tibia)) ليست كبيرة إلا أنها مناسبة لتحمل كل أعباء النشاطات التى تقوم بها.

وعموما لا تنكسر العظام تحت تأثير إجهاد الضغط ولكنها تنكسر تحت تأثير إجهاد قاص (shear) أو إجهاد شد (tension) والكسر القاص دائما ناتج عن كسر حلزونى (spiral break) فيه تخترق العظام الجلد بعد الكسر.

ومن الجدول أيضا يتضح أن إجهاد العظام بالضغط مختلف عن إجهاد العظام بالشد، والعظام تتحمل إجهاد شد قدره 125 نيوتن/ مم^2 قبل الكسر وبالرغم من ذلك فهى أقوى بمرات عديدة من مواد صلبة معروفة تحت تأثير الشد.

السقوط الآمن Safety falling

من قانون الحركة الثانى يمكن حساب القوى التى تؤثر على العظام أثناء سقوط جسم من إرتفاع ما أو أثناء القفز ثم السقوط بعده، والقوى المؤثرة عند التصادم هى معدل تغير كمية حركة الجسم أو بشكل أبسط هى كمية حركة الجسم مقسوماً على زمن التصادم، أى :

$$F=\frac{\mu}{t}=\frac{M\upsilon}{t}$$

حيث μ كمية الحركة، M كتلة الجسم، υ سرعته، t زمن التصادم، F قوة التصادم، أى أنه كلما كان زمن التصادم قليل كلما كانت قوى التصادم أكبر، ولتقليل قوة التصادم وتقليل إحتمال الكسر بنسبة عالية يلزم زيادة زمن التصادم، ويكون ذلك بدوران الجسم أثناء السقوط أو القفز حيث يوزع التغير فى كمية الحركة على زمن أطول فيتم تفادى الكسر أو تقل حدته. وإذا لم يتم تكييف السقوط بالشكل السابق فإن السقوط الحاد على الرجل هو البديل والقوة المتولدة عند التصادم تكون فى حدود

105 نيوتن، وبالتالى يقع على كل ساق إجهاد قدره 215 نيوتن/مم^2 . وهذه القيمة تزيد على إجهاد كسر العظام بالضغط بما يقرب من 30%.

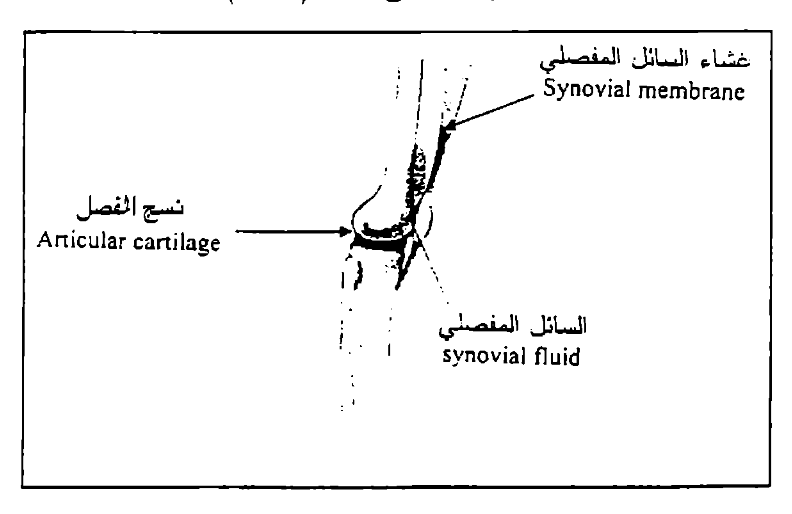
وعندما تتكسر العظام فإن الجسم يعمل على شفائها بسرعة إذا لم يكن الجزء المكسور مفصلياً (immobilized) وعندما يكون مفصلياً فإن الوقت يكون أطول -إلا أن وقوف المريض على قدميه بسرعة أمر هام- وفى حالة الكسور التى يتأكد طبيب العظام أنها لن تؤدى وظائفها فإنه يستبدل الأجزاء بأخرى صناعية مثل المفاصل وأدوات الوصل مثل المسامير والشرائح.

ويستخدم فى سرعة شفاء الكسور مجال كهربى محدود حيث يولد على سطحها شحنات كهربية كنوع من أنواع تأثير بيزور (piezoelectricity) التى تساعد على نمو العظام وشفائها (bone growth and repair).

تليين المفاصل Lubrication of bone joints

تعانى المفاصل من مرضين رئيسين هما الروماتويد والتهاب المفاصل (Rheumatoid & Arthritis) وهما يؤديان إلى زيادة إفراز السائل الملين للمفاصل (synovial fluid) ويسبب إستسقاء المفاصل (swollen joints)، ومرض المفصل نفسه (osteoarthrosis) يظهر عليه الورم.

المكونات الرئيسية للمفصل موضحة فى شكل (17-2).



شكل (17-2)

والغشاء المفصلي يحتوى المفصل ويحفظ السائل المستخدم في تزييت المفصل (Lubricating synovial fluid) وسطح المفصل عبارة عن غضروف ناعم يعمل على سهولة إنزلاق أحدهم على الآخر بأقل درجات الاحتكاك. وأى مرض يصيب هذا السائل يؤثر بشكل مباشر على المفصل نفسه.

والسطح الغضروفي للمفصل ليس ناعما بدرجة عالية، كما يمكن أن نتصور أو كما يحدث في المفاصل الصناعية.

ولكن به درجات من الخشونة تعلب دورا هاما في تزينت المفصل بإحتفاظها ببعض السائل (synovial fluid) حيث يعمل السطح الخشن نسبيا عمل مصائد للسائل، وعندما تتعرض المفاصل لدرجات عالية من الإجهاد فإن نوع آخر من السوائل يفرز من الغضاريف حيث يبرز قتائل منداة بالسائل لتقوم بدورها في التزييت ثم تعود أدراجها عندما يعود الإجهاد إلى الحد الطبيعي أو يزول.

وتعتمد خواص السائل المزيت هذا على لزوجته (viscosity) فالسائل الأقل لزوجة يكون مناسب أكثر من الزيت عال اللزوجة، والسائل المزيت في المفاصل تقل لزوجته تحت تأثير الاجهاد العالية (ضغط) وخصوصا الإجهادات القاصية (shear stress) التي تقع على المفاصل، وخواص السوائل المزيتة للمفاصل (synovial fluid) تتحسن في وجود الأحماض الأمينية والسوائل عديدة التسكر (الوزن الجزئي في حدود 500.000).

وقد وجد أن معامل الاحتكاك في المفاصل لا يعتمد على قيمة الإجهاد الواقع عليه كما لا يعتمد على سعة الذبذبات التي تحدث فيه ووجد أيضا أن الدهون المحتواه في غضاريف المفاصل تساعد في تقليل معامل الاحتكاك.

وقد تمت التجربة السابقة على مفصل ورك (hip joint) من جثة (cadaver) حديثة عرضت إلى إجهادات عديدة لدراسة الأحمال المختلفة بإستخدامها كبندول، وقد حسب معامل الاحتكاك من معدل تناقص سعة الذبذبات مع الزمن، وأثبتت النتائج أن

معامل الاحتكاك فى المفاصل فى حدود 0.01 وهو بذلك أقل قيمة من إحتكاك الثلج إذا إنزلق على لوح صلب (0.03) ويرجع السبب فى ذلك إلى الدور الذى يقوم به السائل المزيت الذى فى غيابه تزداد قيمة معامل الاحتكاك إلى قيمة كبيرة وتبدأ من خشونة العظام.

قياس معادن العظام فى الجسم

Measurements of bone mineral in the body

تعتمد قوة العظام على كتلة معادن العظام فى العظام، والسبب الأساسى لهشاشة العظام (osteoporosis) هو نقص كتلة المعادن فى العظام عن الحد الطبيعى ونظراً لأن كتلة المعادن فى العظام تتناقص بشكل بطئ مع زيادة العمر فإن الحاجة ملحة للآلية دقيقة للإحساس بالتغير بمعدل صغير سنوياً (1% yearly) وإستخدام الأشعة السينية لهذا الغرض تعتبر آلية قديمة وغير ناجحة لكون الإشعاع السينى العادى المستخدم ليس وحيد الموجة وله طاقات مختلفة ويكون إمتصاص الكالسيوم للأشعة السينية متغير فى هذا المدى من الطاقة.

كما أن الموجات الطويلة نسبياً منها تستطار عند إلتقاط صور للأشعة السينية على الأفلام المعروفة والتى تعتبر أداة غير دقيقة لعمل قياسات كمية وذلك نظراً لأن شدة إستضاءة الصور لا ترتبط بعلاقة خطية مع كمية الإشعاع أو مع طاقته، والنتيجة الحاسمة فى هذا الموضوع أن إستخدام الأشعة السينية لا يعطى مؤشر صحيح إلا إذا مرت فترات زمنية كبيرة بين مرات متابعة المريض وبذلك فهى آلية غير وقائية.

وقد إستخدمت آلية آخرى لهذا الغرض تعمل على أساس الامتصاص الضوئى (photon absorptiometry) وقد روعى فيها تفادى نقاط الضعف فى الآلية السابقة **وهى :**

1. إستخدام أشعة جاما أو أشعة السينية وحيدة الموجة.

2. إستخدام شعاع ضيق جدا (مساحة مقطع صغير جدا) لتفادى أو تقليل الاستطارة (scattring).

3. إستخدام كاشف دقيق لحساب عدد الفوتونات التى تصدم به وتجزئها ويمكن إسترجاعها لصدها بشكل دقيق (scintillation detector).

وبذلك أصبح حساب كتلة المعادن فى العظام أمر سهل وبسيط حيث يلف الجزء المعنى من العظام فى قطعة من نسيج رخو أو كيس آمن به ماء ثم توضع فى الجهاز الذى يعمل على الفكرة السابقة ونعين كتلة المعادن فى العظام (Bone mineral mass(BM)) **من العلاقة:**

$$BM = k \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

حيث I_0 هى شدة إستضاءة الشعاع الساقط على العظام

I هى شدة إستضاءة الشعاع النافذ من العظام

K ثابت يمكن تعينه.

وتتكرر عملية حساب BM على جميع النقاط التى يسقط عليها الشعاع ثم تجمع وتحسب قيمة BM المتوسطة، ويتم ذلك إلكترونيا ونحصل على النتائج فى زمن قليل جدا.

وهناك آلية أخرى أكثر حداثة تستخدم فى قياس كتلة المعادن فى العظام الحية تسمى طريقة التنشيط الحى (In vivo activation).

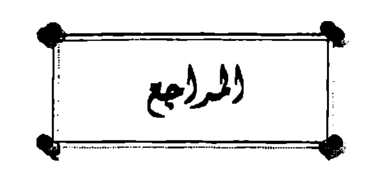
وفى هذه الطريقة يشعع الجسم كله بنيوترونات طاقتها عالية (energetic neutrons) لتحويل كمية من كالسيوم العظام وعناصر إلأى أخرى إلى صورتها المشعة والتى تشع بدورها بعد الإثارة إشعاع جاما طاقتهما عالية، وأشعة

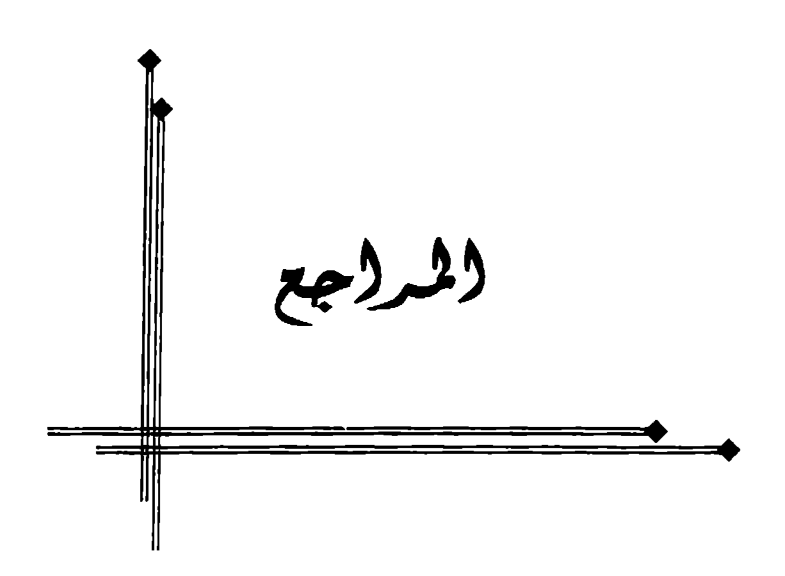
جاما المنبعثة تستقبل وتعدد، وأشعة جاما المنبعثه من الكالسيوم المشع تحدد وتحسب ومن ثم نعين كمية الكالسيوم فى الجسم ثم تعين كتلة المعادن فى العظام (BM).

والجهاز المستخدم يعطى النتيجة مباشرة بالإضافة إلى خريطة مرسوم عليها شدة (قمم) الإشعاع المنبعث من الجسم كدالة فى طاقتها للإستخدام، ولكن نظرا لكمية الإشعاع الذى يتعرض لها الجسم فإنه غير معقول إستخدام هذه الآلية للحصول على نتائج طبيعية أو عادية.

جدول (1) الجرعات الإشعاعية ووحدات القياس

نوع الجرعة الإشعاعية	وحدة القياس	التعريف/الرمز
1. النشاطية الأشعاعية	Bequerel (Bq) (بيكريل)	1. Bq defined as; one nuclear decay per second.
	(كورى)Curi (ci)	$ci = 3.7\times10^{10}$ Bequerels
2. الجرعة الممتصة من الإشعاع بالوحدات العملية SI units	(جراى)Grey (Gy)	1Gy defined as: 1 Jou-le of absorbed energy per kilogram=1J/kg
3. التعريض للأشعة السينية والجامية	Roentgen (R)	Roentgen (R) defined as: The radiation intensity required to produce an ionization charge of 2.58×10^{-4} coulombs/kg (air).
	Rad (r)	1 rad is defined as: An absorbed does of 1×10^{-2} Joule of energy/ kg (Tissue) =100 erg/ g
4. وحدة الجرعة المكافئة (DE)	Rem	The measure of the radiation does in terms of its bio logical effectiveness in man. Ram: is the does in rads multiplied by a (quality factor) 1 rem = 1rad x QF.
		QF=(σ)=20 1 rad =20 rems. QF(x،r) =1، so that: R، rad and rem are equivalent.


المراجع


المراجع

المـــراجـــع

1. Glasser, O(Ed) Medical physics Chicago 1960.
2. Attix. F.H (Ed), Topics in Radiation Dosimetry, Radiation Desimetry supplement 1 Academic, New york 1972.
3. Barnes, P. and D. Rees, A concise Textboot of Radio therapy, Faber and Faber. London 1972
4. wagner, H.N (Ed). Nuclear Medicine, Hospital practice New york 1975.
5. Baum. S, and R. Bramlet. Basic Nuclear Medicine, Appleton- Centery-crofts. New York (1975).
6. Christensen, E.E., T.s. curry and J. Nunnally, An Introduction to the physics of Diagnostic Radiology, lea and Febiger, Philadelphia 1972.
7. Selman. J. the Fundamental of x- ray and Radium phsics 1975.
8. pobts. A. M(Ed), the Assessment of visual Function, Mosby, st. Louis 1972.
9. Aazzard, Dew. G(Ed), symposium on Bioliogical effects and Measurements of light sources, proceedings of aconferences held in Rockvile, MD March 25-26 (1976).
10. Davis, H., and S.R. Silverman. Hearing and Deafness 3rd Hoh, Rinehart and Winston, New york 1970.
11. Goldberg. R.E and L.K. Sarin (Eds) ultrasonics in ophthalmology: Diagnonstic and theapeutic Applicatons, Saunders, Philadelphia 1967.
12. Biologic effect and health hazards of microwave Radiations proceeding of an international symposium in warsava 15-18 october, 1973, Polish Medical, Warsava 1974.
13. Webster, I. G (Ed) Medical instrumentation: Application and Design. Houghton Miffin Baltimore 1987.
14. Goodgold. J. and A Eberstein, Electrodiagnosis of Neuremuscular Diseases, Williams and wilkins, Baltimore 1972.

15.Tavel. M. E. clinical phonocurdiography and external pulse Recording: 2nd ed year bock Midical, Chicago 1972.

16. Campbell, E. J.M. E. Agostoni and J. N Davis. The Respiratory Muscles. Mechanics and Neural control, 2nd ed saunders, philodelphia 1970.

17.Brummelkampw.h. Hyperbaric oxygen theraph in clostridial infections, type welchii bohn. hearlem 1965.

18.seagrve R.c Biomedical Applications of Heat and Mass transfer, Iowa state V.p., Ames Iowa 1971.

19.Raskin M.M and M. viamonte, Jr. (Ed\s) Clinical thermography, American college of Radiology, Chicago, 1977.

20.Iamadu. H. Strength of Biological materials, edited by I. H. Evans Williams, Baltimore 1970.

مختصر سيرة ذاتية



المؤلف: أستاذ دكتور/ محمد محمد الزيدية

المؤهل: دكتوراه فى خواص المواد الصلبة

الوظيفة:

أستاذ المواد الصلبة. وعميد كلية العلوم- جامعة المنوفية (1992-1998) - شبين الكوم - مصر العربية.

المؤلفات:

1- نشر مئة بحث فى خواص المواد الصلبه فى المجلات العلمية.
2- كتاب خواص المواد الصلبة.
3- كتاب الضوء والصوت.
4- كتاب الفيزياء الطبية.
5- ترجمة كتاب الفيزياء العامة والحرارة للمؤلف G. A. Grant.

التدرج العلمى:

عين معيدا بكلية العلوم جامعة عين شمس عام 1968، وتدرج حتى حصل على أستاذ خواص المواد الصلبة عام 1986، بكلية العلوم جمعة المنوفية

الوظائف الإشرافية:

1- وكيل كلية العلوم جامعة المنوفية لشئون الطلاب 1987-1992م.
2- عميد كلية العلوم جامعة المنوفية 1992 - 1998م.

التقديرات:

1- حاصل على جائزة أحسن بحث عام 1995.
2- حاصل على ميدالية الشبكة القومية للإشعاع عام 1994.
3- حاصل على شهادة تقدير من وزارة العمل فى خدمة البيئة 1996.
4- حاصل على شهادة تقدير من جامعة المنوفية 1996.
5- حاصل على ميدالية التميز فى خدمة التعليم العالى الخاص عامى 1994 - 1995.

المخترعات:

اختراع مادة فائقة التوصيل الكهربى مسجلة تحت مسمى منوفية (1)، منوفية (2).

الجمعيات العلمية:

عضو الجمعية المصرية لعلوم المواد.
عضو الجمعية العربية لعلوم المواد.
عضو الجمعية العربية للفيزيائيين العرب.
عضو الاتحاد العربى للفيزيائيين والرياضيين العرب.
عضو الجمعية المصرية للفيزيائيين العرب.